首次全景记录中国大飞机40年的探索与挫折，展现中国航空人的光荣与梦想

A NATION'S FLIGHT

The Breakthrough of China's Commercial Aircraft

一个国家的起飞

中国商用飞机的生死突围

刘济美◎著

工业和信息化部苗圩部长作序

联袂推荐

金壮龙 中国商用飞机有限责任公司董事长

罗荣怀 ARJ21-700飞机项目总指挥

郭博智 上海飞机设计研究院院长

隋明光 四川航空集团有限责任公司总经理

杨　伟 歼-10系列、"枭龙"战斗机总设计师

吴希明 直-10、直-19两型武装直升机总设计师

52项极端气象条件试验试飞　54项美国联邦航空局MOA项目审查　398项适航条款

3418份符合性验证报告　8220次失速　30748公里环球飞行……

从立项、设计，到试制、试飞，再到生产、交付，几乎每一步都是中国民用航空工业的第一次！

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

一个国家的起飞

——中国商用飞机的生死突围

刘济美 著

中信出版社

目录

序

第一章 不忘初心

运-10飞机打开了中国商用飞机产业发展的“三条金光大道”

“干支之争”归根结底都是为了生存之争

这些没有成功的合作项目却注定了要触动一些事情

我们从没有放弃过追求与努力

第二章 关键时刻

支线客机购买热掀起了国内支线航空市场的争夺战

承担风险是飞机制造行业的一条重要法则

销售第一架飞机需要一种信任

我们需要快速起飞

我们需要风险共担的合作伙伴

ARJ21项目是当时全球唯一启动的新飞机项目

我们成了在JDP阶段花费时间最长的飞机

它看上去根本不像一架即将下线的飞机

欢迎你，中国民机ARJ21-700飞机

第三章 意想不到的挫折

这是个经典试验，但我们却失败了

飞机一沉，所有人都蒙了

我的耳边全是质疑的声音

所有人都问我什么时候重新生产一架试验机

我们拿着美元按小时给美国专家付费咨询
我心中最动听的声音是加载到100%时的欢呼声
第四章 云海之巅的征程
研制进入“深水区”
让它飞起来
颤振！我们是一切试飞科目的基石
失速！我们通过8220次失速在安全性与经济性之间寻找平衡点
第五章 解开商用飞机安全性的密码——10-9
10-9是航空业赖以发展的基石
最具争议的试验
如何才是一个好局方
地面上墓碑的数量决定着适航标准的建立
第六章 验证一架商用飞机的安全性到底有多难
几乎所有的试验都是填补空白的
用579天解决1.2度的误差
虽然工程意味着妥协，但更意味着必须为未来进行决策
在中国最寒冷的地方进退两难
第七章 什么才是驾驶舱里的最高职责
42秒的时间里飞机的高度损失了3230英尺
全世界没有几个人能“玩”得了这把“刮胡刀”
我们是保证飞行安全的“第一道堤坝”
为中国商用飞机驾驶舱注入中国智慧

驾驶舱里最“挑剔”的乘客

第八章 一个国家的试飞

在乌鲁木齐寻找飞翔的“空中湖泊”

我们被调侃是在“守株待兔”

艰难十日

在国内仅有的一条跑道上捕捉幽灵般出没的大侧风

四年后终于获得一套22节的侧风数据

这不是一款飞机的试飞，而是一个国家的试飞

第九章 开启国产客机的商业航空时代

我差点被他们用板车“拖出去”

商业成功从赢得客户开始

中国商用飞机自信起航

后记 永不放弃

后记 这是中国商用飞机发展的“黄金时代”

它是中国跻身世界商用飞机制造强国的再一次发力。

它是中国民用飞机产业的“开路先锋”。

它是中国第一次全面按照国际适航标准研制的商用客机。

它是中国第一架同时追求技术与商业成功的先进喷气式支线客机。

它就是“阿娇”——ARJ21-700型支线客机。

它解开10^{-9} ，这是商用飞机的安全性密码，10^{-9} 不仅是我国在商用航空领域始终与商业成功隔岸观火的原因，也体现了我国成为航空强国的现实距离。

在本书中，它更像是一部真实而复杂的纪录片，为中国民用飞机进入商业航空时代寻找历史坐标。

序

2015年是中国航空工业的丰收之年，继C919国产大型客机11月2日总装下线后，11月29日中国首次按照国际民航要求自行研制、具有完全自主产权的新一代喷气式支线客机——ARJ21-700正式交付商用。这宣告我国拥有了第一款可以进入航线运营的喷气客机，具备了喷气式民用运输类飞机的研制能力和适航审定能力。

从2003年9月25日ARJ21-700飞机型号合格审定会议算起，到2015年11月29日正式交付航空公司，12年零两个月，一路行来，委实不易。52项极端气象条件试验试飞，54项美国联邦航空局MOA项目 [1] 审查，398条适航审定适用条款，3418份符合性验证报告，8220次失速试飞，30748公里环球试飞……，从立项、设计，到试制、试飞，再到生产、交付，几乎每一步都是中国民用航空工业的第一次。

ARJ21-700飞机研制成功的背后，是无数航空人的光荣与梦想。从设计师到试飞员，从制造者到审查员，每一个人都是一部鲜活的历史。面对国家重托和历史使命，面对前所未有的挑战，他们矢志不渝、坚韧不拔，无论高温酷暑，还是极度严寒，始终秉承和发扬“两弹一星精神”和“载人航天精神”，勇往直前、创新突破。国家将记住每一位忠诚奉献的人，记住他们的付出和牺牲。

ARJ21-700飞机的研制，不仅攻克了鸟撞试验、全机高能电磁场试验、闪电防护间接效应试验等一大批重大试验课题，掌握了失速、最小离地速度、自然结冰等一大批关键试飞技术，掌握了一大批新技术、新材料、新工艺，而且积累了重大创新工程项目的管理经验，探索形成了一条“自主研制、国际合作、国际标准”的民机技术路线。

正如作者书中所言，ARJ21项目是一部波澜壮阔的创业史，无论是针对争夺航空市场的博弈，还是国家寻找新的产业支撑的决策；无论是技术上的突破，还是工业化的思维，这个项目都将深深地影响每一个人，都将在制造强国建设历程中写下重重的一笔。

新华社记者刘济美多年来一直跟踪采访我国航空装备的研制。她的著作《一个国家的起飞——中国商用飞机的生死突围》，生动详实地展现了ARJ21-700飞机研制过程中的点点滴滴，希望这本书能够为社会各界读者深入了解这段历史打开一扇窗。

是为序。

2016年3月10日

[1] 注：MOA，即Memorandum of Agreement,是FAA“影子审查”签署的谅解备忘录，MOA项目即为FAA“影子审查”时关注的项目。

第一章
不忘初心



从"我能造什么"到"客户需要什么"，这种观念的转变意义非凡。近40年来，中国航空工业在遗憾与寂寥中度过了世界民航市场高速发展的"黄金时代"，而ARJ21-700飞机注定要改变这一切，中国的航空公司第一次真诚地向中国自己的飞机投来了青睐的目光

法国年鉴学派学者费尔南·布罗代尔（Fernand Braudel）这样认识历史：历史是阳光永远照射不到底部的沉默之海，在历史上造成喧哗的人们高踞在沉默的大海之上，而真正的，沉默于海底的无边无际的历史背后，才是进步的本质，真正传统的本质。

1998年，在中国商用飞机历史上最大的国际合作项目AE-100项目宣布解散时，参加过中德民机合作项目MPC-75与AE-100项目的中国商用飞机设计人员在北京告别。当时，面对中国商用飞机产业吉凶未卜的前途，他们极其悲壮地喝了一次酒，几十号人站在北京的星空下掩面痛哭，心里怎么

也想不明白，祖国的天空怎么就飞不起来属于中国人自己的商用飞机……

16年后，同样是北京的星空下。

2014年12月26日19时，ARJ21-700飞机型号合格审定委员会（TCB）最终会议终于在民航干部管理学院召开。21名委员会成员在会上做出了一个可以载入史册的决策：接受ARJ21-700飞机审查组可以颁发型号合格证（TC）的建议，并将请求中国民航局为拥有中国自主知识产权的首架喷气式支线客机——ARJ21-700飞机颁发型号合格证。

这意味着长达11年3个月的适航审定工作全部结束，ARJ21-700飞机符合《运输类飞机适航标准》，它也成为中国第一款具备航线运营资质的喷气式支线客机。对此，ARJ21-700飞机型号合格审定委员会成员、民航科学技术研究院适航研究所所长路遥在会上表示：我对ARJ21-700飞机的适航性充满信心！

2014年12月30日，中国民用航空局局长李家祥乘坐ARJ21-700飞机105架机从上海飞往北京，他在接受记者采访时表示：我要向世界宣告，中国研制的喷气式客机是安全可靠的，是可以信任的。

或许，历史可以将所有参与ARJ21项目的研制人员看作是中国民机产业的“盗火者”！但愿，从此这星星之火可以燎原，也正如中国民用航空局适航司司长殷时军在ARJ21-700型飞机型号合格审定委员会最终会议上所说，“我希望这不是ARJ21项目的结束，而是系列化的开始，我希望这个数字会是1000架……”

2014年5月23日，国家主席习近平在上海考察调研时，专程来到中国商用飞机设计研发中心，他亲自登上C919展示样机的驾驶舱体验。习近平说，我们要做一个强国，就一定要把装备制造业搞上去，把大飞机搞上去，起带动作用、标志性作用。中国是最大的飞机市场，过去有人说造不如买、买不如租，这个逻辑要倒过来，要花更多资金来研发、制造自己的大飞机。在调研结束后，习近平叮嘱中国商飞公司的负责人：“中国大飞机事业万里长征走了又一步，我们一定要有自己的大飞机。”

早在2007年10月，美国《时代周刊》提前刊登了一篇标题为“中国航空业开始起飞”的文章。虽然作者在文中介绍了喷气式商用飞机的制造难度和市场竞争的险恶情况，但是，文章却强调了另一个事实：虽然面临着巨大的风险与挑战，中国却正在努力成为一个世界级的飞机制造商！中国航空工业开始起飞！

作者在文中写道：无论对于飞机还是飞行员来说，位于中国西藏的邦达机

场都是一种挑战。该机场坐落于青藏高原的绵延群山之间，海拔高达1.4万英尺（4334米），是世界上最高的机场。由于那里空气稀薄，在中国国内航空业中占大多数的大型飞机——波音公司和空客公司的飞机，在某些条件下，尤其是在恶劣天气和满载乘客的情况下，普遍缺乏足够的动力和升力以满足飞机顺利起降的要求。所以，在2002年中国政府做出了一个惊人的决定：中国将制造一种新型客机，它不仅能在西藏的邦达机场轻松起降，而且将使中国成为举世瞩目的世界级商用飞机制造商。

“让中国的大飞机翱翔蓝天”，这个体现着国家意志的愿望，跨越了中国航空工业发展的漫长距离，将历史带入了一个崭新的时代——一个航空工业向产业化发展的新时代！然而想一想，在这个跨越之前，中国商用飞机发展的路线图还仅仅是徘徊在人们大脑里的一个极不确切的概念、一个又一个在概念阶段就下马了的项目、地面上一堆又一堆的部件和档案室里一摞又一摞标有“秘密”字样的纸片而已。

让一架新研制的商用飞机飞起来需要冒巨大的风险，这是一场着眼于未来的大赌博！在商用飞机领域的每一次豪赌中，输家从此一蹶不振，而赢家又不得不为了满足新的市场需求和迎接新竞争对手的挑战而赶快进入到另一场豪赌之中。

在商用飞机制造业中，有一个规则就是：预测明天。

世界航空市场的变化是反复无常的，难以预测的发展前景会毁掉即便是设计得最好的飞机。一个今年还很有希望的飞机概念，可能明年就会被航空市场不断变化的需求毁掉而变得毫无用处。

无论是过去还是现在，他们真的知道未来需要哪种飞机吗？

他们能够预测明天航空市场的发展吗？

起码，他们并没有在世界发生变化的时候静坐一隅，ARJ21-700飞机是中国民机工业吸纳后的必然勃发！

运-10飞机打开了中国商用飞机产业发展的“三条金光大道”

在ARJ21-700飞机之前，中国有数十种都停留在顶层设计阶段的商用飞机方案，这些没有飞起来的飞机数量甚至可以编成机队飞行。在近40年的时间里，这些由于各种原因被抛弃的飞机方案设计正是中国民机工业向产业化道路发展的艰难积累。

早在1972年，美国总统尼克松访华拉开了中美外交的序幕，中国首次向波

音公司定购了10架波音707飞机。随着中美关系正常化，中国与波音公司的合作与日俱增。截至2005年3月，中国民航运营的802架飞机中有501架为波音飞机。以飞机架数计算，波音在中国的市场份额为63%，以飞机座位计算，市场份额为67%。西方媒体对此惊叹："中国给予飞机制造商的回报好像多得无法估量……"

1985年2月，获得了一系列技术成功的运-10飞机被挡在适航许可证的门槛之外，最终退出了世界商用飞机竞飞的天空……

作为运-10飞机的设计单位，上海飞机设计研究所始终主张研制干线飞机。运-10飞机的研制始于1970年8月，前后历时15年，1980年9月26日成功首飞；1985年2月停止研制。在原中国航空工业总公司的一份内部资料里可以完整地了解当年事件发展的始末。

根据资料显示，当时，原第三机械工业部起初想将正在南昌飞机制造厂研制的歼-12飞机交给上海生产；空军航空工业领导小组想要"尽快做出一个大型运输机的设计方案以便曹里怀副司令去上海落实"；上海市革命委员会在一开始就明确提出要搞大型旅客机作为周总理专机。最后，空军航空工业领导小组与原第三机械工业部一致决定：该机平时是客机，战时是运输机，项目由上海市领导。经过讨论，最后同意了西安飞机制造厂设计科科长马凤山提出的"采用轰-6翼型，机身参考三叉戟飞机布局特点，尾吊3台发动机"的设计方案，并要求172厂进一步做好设计生产准备。

1970年9月14日，上海市革命委员会常委确定了以上海市企业为主的飞机研制单位：飞机总装放在原中国人民解放军5703厂(上海飞机制造厂)；发动机制造放在上海第一汽车附件厂(上海发动机制造厂)；起落架制造在118厂(上海航空电器厂)；雷达制造在上海无线电二厂，并且准备成立飞机制造公司。

运-10飞机起飞总重110吨，能够实现洲际间不着陆直航。它的设计基本上是按照国际标准来进行的，以美国的商用飞机适航性条例FAR25为设计依据，同时也部分参考了英国规范BCAR-D、国际民航的适航技术手册DOC9051-AN/896、苏联规范НЛГС-2，以及有关的MIL标准等，从而保证了飞机能够达到规定的性能指标，具有一定先进性，并为研究制定我国的商用飞机设计规范打下了基础。但是在质量控制、技术管理和生产管理方面，则与国际标准有很大的差距。

波音747总设计师乔·萨特（Joe Sutter）在他的回忆录《未了的传奇》[2]中称运-10飞机为"亚洲版707飞机"。他认为这是一次有意思的经历："1980年我们到中国专门参观了仿制波音707设计生产的运-10飞机。当时有超过50个中国的工程师和政府官员陪同我们一起参观。后来我们登

上了飞机并进入驾驶舱参观，驾驶舱里的布局和707飞机简直如出一辙。我发现飞机操纵系统的摩擦力太大，并建议他们对比一下中国航空公司正在使用的707飞机的操纵感。在完成试飞工作后，运-10飞机就悄然退出了历史舞台，也许这是因为中国和西方的关系已经逐渐改善了，航空公司可以向美国购买喷气式飞机，这样一来，成本要比购买国产飞机低多了。”

1985年4月，运-10飞机停飞两个月后，原中国民航总局局长沈图被免去局长职务；1987年7月，中共中央政治局根据中央纪律检查委员会关于沈图所犯错误的调查情况，决定撤销他的中央委员的职务，开除党籍。很长一段时间，中国航空公司并不看好中国飞机制造商设计的飞机，只要他们不喜欢，飞机制造商的商用飞机设计方案就很难有机会“飞”起来。

原上海飞机设计研究所总设计师吴兴世介绍说：“运-10飞机的研制，打开了中国商用飞机产业发展的‘三条金光大道’——以运-10飞机为平台，向大型远程商用飞机、大型军用特种飞机、中短程商用飞机方向发展。这种‘一个平台、军民融合、系列发展’的发展模式，完全符合世界各国商用飞机发展的普遍规律。当年，美国麦道公司的一位副总裁曾直言不讳地表示，如果有运-10飞机，麦道飞机就不能顺利进入中国市场……事实上，他们真正想要遏制的并不是一款飞机产品，而是一个技术能力赖以发展的平台，但是非常遗憾，我们在当年却完全没有看清楚这一点。运-10飞机的停飞，事实上是将中国民机产业挡在了‘三条金光大道’的入口。”

美国波音公司是这种模式的典型代表。20世纪50年代，波音公司在成功研制了波音707飞机之后，沿着“三条金光大道”顺利登上了商用飞机制造行业霸主的宝座。第一，在波音707飞机的基础上继续向大型化、远程化发展，成功研制了波音747飞机；第二，发展运载能力强、经济性能好的中短程、远程喷气式客机——波音727、737、757、767、777、787；第三，直接在波音707、747、767的基础上改型发展预警机、空中加油机、电子侦察机、空中指挥机等军用特种飞机。

空客公司也从研制A300飞机起步，沿着“三条金光大道”继续发展，他们凭借着A318、320、330、340等系列飞机的成功研发，终于在2004年的市场销售额上超过了波音公司，成为商用飞机制造行业的新霸。2008年2月29日，美国国防部宣布采购179架由空客A330改进的KC-30（现已更名为KC-45A）加油机，合同总额达到400亿美元，这是近几年来五角大楼最大的一份合同。空客公司在“三条金光大道”上飞速前进。

正如波音747总设计师乔·萨特所说：“波音公司在商用客机领域多年来与‘商业成功’隔岸相望，而那些军用项目无疑使波音公司对商用客机燃起了新的希望。”1945年5月8日，第二次世界大战在欧洲宣告结束时，波音公司首席空气动力学家乔治·谢勒和其他美国技术情报人员在位于德国福肯

罗德的一家航空研究中心的枯井中，发现了德国人仓促丢弃的一些风动试验数据，这些数据表明采用后掠式机翼能够提升飞机的飞行速度，而后掠式机翼加涡轮发动机的模式将成为未来航空发展的方向。随后，波音公司更改了B-47飞机的设计方案，将喷气发动机安装在机翼之外而不是机翼或机身之内，这是波音公司在飞机设计领域取得的一项重大而重要的进步。再融合采用后掠角35度的后掠式机翼，B-47飞机的推出使波音公司站到了研制开发大型喷气式飞机的前沿。此后，波音公司开始了世界上第一架长航程、后掠式重型轰炸机B-52的研制，波音共生产了744架B-52轰炸机，掌握了丰富的设计与生产技术。20世纪50年代初，在军方的支持下，大量的军用飞机技术被转移到商用喷气式飞机的制造中来，波音707飞机的技术90%来自于军用飞机，它宽大的载客空间和卓越的洲际航行能力，打破了道格拉斯螺旋桨客机对商用客机市场的长期垄断，波音公司在“商业喷气时代”扮演了重要角色。

当年，如果在运-10飞机叩不开民航大门的时候，能够快速地调整方向将其转型成为军用产品，我们就能够站在与波音公司当年研制喷气式大型客机相同的起点上重新起步，或许中国的大型喷气式商用飞机早已问世。可见，一种正确的发展理念，只要坚持不懈地进行下去，必将证明自己的正确……

可惜！中国的商用飞机不仅具有世界商用飞机行业的共同属性，同时还存在着太多的宿命！能够决定其发展的因素只有两个：社会变革与资本。

在1969年10月至1972年8月间，中国曾经先后上马了三个大型飞机项目，这三个项目的诞生与结束都受到国际关系、国内社会变革、地方利益等诸多因素的影响，航空工业自身所具有的价值已经使其发展成为影响世界格局、全球经济和社会变革的一股不可忽视的力量。

1969年3月，珍宝岛战斗之后，中苏边境持续紧张的局势使中国的战备工作进入了突击性临战阶段，在此期间，林彪提出“大搞轰炸机，大搞运输机”的要求。聂荣臻同志在其回忆录中说：“所谓‘第一个号令’就是1969年10月18日，林彪背着党中央和毛泽东同志，借口‘加强战备、防止敌人突然袭击’，擅自发布‘紧急指示’，调动全军进入紧急战备状态。”此前，国防科委第六研究院已经向西安飞机设计研究所下达了研制远程大型运输机（运-9飞机、称“10号任务”）的任务。10月30日，中共空军党委向军委办事组、国防工办并周总理提出“力争在1972年基本将汉中歼击机基地改建成为大型运输机基地”的报告。半年之后，一个更迫切的研制任务取代了远程大型运输机的研制：1970年6月10日，国防科委第六研究院又向西安飞机设计研究所下达研制远程轰炸机的任务（称“12号任务”）；12月31日，空军党委、航空工业领导小组向周恩来、中央军委、国防工业领导小组递交了《关于研制远程轰炸机的报告》：研制工作由西安飞机制造厂和

西安飞机设计研究所进行，争取1973年出样机，1974年批量生产装备部队。

1970年8月，毛主席视察上海后，中央军委、国家计委向上海市下达了研制大型客机（运-10飞机）的任务。

历史与政治本身所具有的复杂性，常常使我们的认知能力变得苍白失色，但是，对于历史研究的重要性不在于事件的本身，而在于事件导致的后果。珍宝岛边界冲突事件之后，毛泽东通过充分发挥国家关系中边界问题的制衡作用打破了中美关系的僵局，最终完成了对外战略目标的转移，1972年2月21日，毛泽东与美国总统尼克松“第一次握手”。大型喷气式客机的研制，也未尝不可看作是毛泽东对林彪背着自己擅自作重大决策的一种制衡作用：1971年9月13日，林彪叛逃坠机身亡；1972年8月22日，国部科委第六研究院下文通知：远程轰炸机研制任务暂停下来，各项预研项目与上海708工程（运-10飞机）结合起来。此后，毛泽东再没有过问运-10飞机的研制情况。

远程大型运输机、远程大型轰炸机、大型喷气式客机，三个大国之重器就是在这样一种复杂而尖锐的关系下开始研制又相继结束的。截至1985年2月，运-10飞机共投入资金5.377亿元人民币；相继下马的远程大型运输机、远程大型轰炸机，使中国空军至今未能完成向战略型空军的转变。面对百废待兴的中国，邓小平在确定改革开放的决策时也做出了军队建设为经济建设让路的决定，1985年又正式提出“军队要忍耐”的口号。凿开覆于信息表象之上的冰层，多了解一些历史的复杂性，或许会多一些理解而少一些怨愤。

上海飞机制造厂在半年前就获知了远程轰炸机研制任务暂停的消息，在《上飞四十年》[3] 一书中记录：“1972年1月15日，‘远轰’缓办集中力量先把708工程搞上去”。接下来，空军各科研单位、航空工业向上海市支援了更多的工程技术人员，从此也为“军民之争”埋下了伏笔。随后，各种利益集团之间又开始了一场缠绵永续、无始无终的产业争夺。

1978年，日本媒体《读卖新闻》驻香港记者松永二日在对上海的一些企业进行观察之后，预言中国即将开始一场新的经济革命，“中国的领导人已经意识到，靠上海那几家老工厂是不可能实现现代化的，因此，必须下决心引进国外的先进技术。近来，中国加强同外国的经济关系的活动令人目瞪口呆，中国派出党政领导人到31个国家访问，并且接待了15个国家的政府领导人。而他们绝大多数是以前的敌人——西欧发达国家，不言而喻，这种门户开放政策的目的在于引进先进技术。”此后，国际上思考“中国经济崛起将对世界造成怎样影响”这个问题的学者越来越多，一向严谨的《经济学人》认为，“中国目前缺乏市场常识，他们对市场需要怎样的产

品、设计和质量规范缺乏经验，唯一的方法是从其他国家的经验中照搬，事实上中国已经开始这样做”。

如果说，40年前中国商用飞机是作为社会变革的伴生品出现的，那么未来30年，我们理应期待由更多的商业智慧构成中国商用飞机产业发展的历史。社会变革的最终成果，不是一架飞机与一个产业，而是中国体制内最深刻的思想变迁。但是，在当时我们并没有完全清晰地看到这一切，20世纪80年代，国家吹响了民机产业的第一次“集结号”，征战在中国民机战场的将士怀着极不情愿的心情，被迫撤出了已经是烽烟四起的战场……

在此期间，西方军工产业在新军事变革和政府的共同推动下，借助资本运作的优势进行了大规模的兼并重组，走向了“全价值链集成经营”的企业转型之路……

1986年12月4日，国务院第125次常务会议决定，抓紧发展干线飞机。从项目论证开始，到1999年波音公司宣布关闭MD-90系列飞机生产线为止，中国干线飞机项目又开始了历时14年的探索……

1987年1月，原中国航空工业部与中国民航总局联合向波音公司、麦道公司、空客公司等国外6家飞机和发动机制造公司发出联合研制干线飞机的邀请。

漫长的谈判持续了6年……

空客公司首先明确拒绝了原中国航空工业部提出的联合研制改型飞机的要求，他们表示，“刚刚定型的A320飞机代表了世界最先进的水平，不需要做任何改动”。随后，中方也否定了空客公司合作生产A320飞机的建议。

原中国航空工业部与中国民航总局转而将波音公司视为合作伙伴，想在波音737-400飞机的基础上进行改型设计。1988年10月，经过4个月的干线飞机合作方案可行性研究之后，波音公司最后提出，“由于波音737、757市场销售情况良好，波音公司无意按照中方干线飞机项目要求对现有737、757进行改型”。无奈，中方放弃了改型要求而希望能合作生产150架波音737飞机，对此，波音公司则需要中方承诺，“波音公司生产的其他大型飞机在中国市场的份额能够达到70%”……

1992年3月，最终只有麦道公司同意了中方将MD90-30飞机的2轮起落架改装成4轮起落架的要求，这既达到了中国民航总局提出的“提高中国国内机场的起降能力”的要求，又满足了原中国航空工业部“牢牢抓住设计主动权”的要求。这一年，麦道公司在飞机行业的收益下滑了62%，华尔街开始担心麦道公司是否还能在这个行业支撑下去……

1993年，原中国航空工业总公司提出：以合作生产40架MD-90飞机为基础，以国际合作发展100座级飞机为突破口，实现立足国内研制生产180座级飞机的目标的“三步走计划”。

中国启动干线飞机项目的时候，国际商用飞机市场正处于周期性的10年衰落时期，商用飞机销售价格大幅下滑，原中国航空工业总公司逐渐感觉合作生产MD90-30飞机经济压力增大。1993年2月，中国民航总局又向国务院明确提出，国内所有飞机跑道都已经改造完工，航空公司不再需要“2轮改成4轮”的MD-82T飞机。为此，国务院花费了近两年时间在双方之间进行协调，原本40架的飞机合同，包括3架MD-82、17架MD-82T（4轮起落架）、20架MD90-30T（4轮起落架）最终改成：工业部门生产20架MD90-30飞机，中国民航总局直接向麦道公司购买20架MD90-30飞机……

当中国工业部门与民航部门正在为一些琐碎而毫无价值的事情相持不下的时候，另一个能真正决定MD90-30飞机命运的交易，也在一种不容置疑的强势力量推动下紧张地进行着。1993年夏天，美国国防部副部长威廉·佩里（William Perry）与美国国防产业的12家公司的首席执行官共进晚餐，席间威廉告诉他们，他即将掀起军工企业合并浪潮……1996年12月15日，波音公司用133亿美元合并了麦道公司，实现了在商用飞机领域的统治地位，此前，为了避免欧盟委员会的阻挠，波音公司做出了关键性的让步，取消了与世界上最大的三家航空公司——美国航空、达美航空和大陆航空签订的独家销售协议。半个月之后，法国、德国、英国和西班牙也终于做出对空中客车进行改造的决定，将其建成一个统一领导和自主经营的经济实体以抗衡美国的威胁。不在欧洲内部竞争的决定是空客取得成功的一个重要因素，协作经营则是空客公司取得繁荣的法宝。

1997年11月，波音公司宣布MD-11、MD-80和MD-90系列飞机生产线将随着2000年2月最后一架飞机的交付而关闭。随后，本来就不喜欢MD-90飞机的中国民航总局明确提出：国内MD90-30飞机也应该与波音公司同步停产……

在原中国航空工业总公司生产最后两架MD-90飞机期间，厦门、海南、深圳、山东、武汉、云南、新疆等一大批地方航空公司都配备了波音737飞机，他们表示，乘客都感觉乘坐737飞机比乘坐机身狭长的MD-90飞机要舒适一些。

在这段时间里，中国民航总局购买波音737飞机的总数超过了150架，波音公司也完成了737飞机的系列改型……

1997年，原中国航空工业总公司的“三步走计划”被佩里在“最后的晚餐”上

掀起的合并狂潮所彻底湮没……

中国商用飞机的产品链断裂……

中国民用航空工业界开始反思，中国商用飞机应该何去何从……

20世纪90年代，原中国航空工业总公司在中美合作生产干线飞机项目的过程中，大部分时间都在焦虑地销售分摊在他们身上的20架MD90-30飞机。与此前不同的是，这次不再是简单地“组装飞机”，而是与麦道公司合作制造飞机。最终MD90-30飞机只生产了两架，麦道公司就被波音公司兼并了，上海飞机制造厂的生存也随即陷入了困境。虽然，当年麦道公司急于通过占据中国市场来扭转与波音公司在市场竞争中失利的目的落空了，但是，中国飞机制造厂商也在近10年的合作生产中积累了宝贵的现代商用飞机制造经验。

原中国航空工业第一集团公司民机部部长王启明表示：MD-90项目带给中国航空工业最大的收获是飞机制造技术上的突破，我们掌握了很多生产管理技术与项目管理技术，包括如何制定关键的生产节点，制定详细的生产计划。从此之后，中国飞机制造厂商能够按照国际先进的工艺标准来制造国际先进的商用飞机了。同时，我们也构建起了以上海飞机制造厂为主制造商，西安飞机制造厂、沈阳飞机制造厂、成都飞机制造厂为主供应商的生产分工格局、厂际间生产管理与产品质量控制的制造体系。我们在组装MD-82飞机的过程中仅仅扮演了大部件组装的角色，技术含量很低，只占全机工作份额度的6%～8%。MD-90项目改变了我们的角色，我们除了复合材料受到美国禁运的控制，其余所有工作都是从原材料进口开始一点点干起来的，最终90%机体的生产实现了国产化。这其中涉及非常重要的先进工艺标准，麦道有1000多项工艺标准，我们当时就使用了800项。而且，我们还取得了经过适航批准的生产许可证。当时，美国航天局指出：532项检查基础上，中国组装的一次检查合格率为95%，麦道公司只有51%。

但是，历史仍然留下许多细节让我们慢慢思考，当我们对此思考的越多时，它就展现出越大的意义。我们不得不遗憾地看到，这次历时14年的技术合作仍然是一次无涉商业精神的尝试，动机与目光仍然局限在获得技术的层面，而完全没有“实现商业成功”的诉求。

1992年，麦道公司向外界公布了MD-12飞机的设计资料，几个月之后就宣称将自己商务客机业务的40%以20亿美元的价格转卖给台湾航空航天工业公司。这令波音公司感到非常紧张，于是开始去华盛顿游说极力反对此事，台湾航空航天工业公司最终退出了这场交易。而此时，一些美国的投资银行家也积极地跑到图卢兹与空客商谈将麦道建成空客在美国长滩市的

分公司，这些行为促使五角大楼下定决心推动这次兼并。1996年11月，国防部门突然不再允许麦道公司负责军用飞机的设计与制造工作，而将其逼到了波音公司的谈判桌前。1996年12月10日，两家公司的首席执行官在西雅图四季酒店的一间套房内仅用45分钟就在收购价格上达成一致，而在此前，波音公司的投资银行——瑞士信贷第一波士顿已经耗费了三年多的时间仔细调查了麦道公司的财务状况。

商用飞机制造业内很少有秘密，但是当时，面对技术诱惑，我们最终放弃了对商业风险的谨慎态度。中国航空技术进出口总公司陈启南回忆说："其实，早在几年前，当我们选定MD-90飞机时，就有外商中的华人提醒我们，麦道公司的财政状况非常糟糕，和麦道公司进行长期的合作项目将会有很大的风险。但是当时，我们对此置若罔闻，直到麦道公司被合并，我们才开始感到惊讶。"

正当我们对商用飞机领域无法描述的微妙与复杂深感错愕的时候，另一个霸主紧握着一个真正的商业动力从喧嚣的疆场上驰骋而来，空客公司给每位员工都发了一枚徽章：在波音公司的徽标上压着黑色的"打败"二字——"打败波音"，这提醒着他们：现在是实行新战略的时机了。

仍显幼稚的现实，并不意味着它的未来不值得期待，商业精神对于中国航空工业的重要意义并非在于它摧毁了一个旧传统，而在于它在建立一个新世界。

那一时间，社会各界拯救中国民机工业的呼声不断，随之而来的各种飞机选型的争论也甚嚣尘上。

"干支之争"归根结底都是为了生存之争

中国的民机工业，除了争论不休的"大飞机"，还有更加激烈的"干支之争""对外合作与自主研制之争"和"东西之争"。

西安阎良被誉为"中国西雅图"。中国最早的大型运输机、远程轰炸机的研制就是在西安艰难起步的，航空工业内的专家都将运-9飞机看作是中国大型运输机的前身。"1972年8月22日，远程轰炸机项目缓办之后，西安飞机设计研究所和西安飞机制造厂的200多名年轻技术骨干被抽调至上海，与从全国召集的400多名技术人员组成了上海市708设计院（上海飞机设计研究所），参与运-10飞机的研制。"原西安飞机设计研究所所长李洪毅对整个航空工业对上海市的第一次人力增援仍然记忆犹新。

中国最早的一款支线客机运-7，就是由西安飞机设计研究所与中国一航西安飞机工业（集团）有限责任公司（西飞公司）共同设计、制造的。运-7

飞机的研制始于1966年，是经过周恩来总理亲自批准，在苏联安-24客机基础上测绘仿制的一款以支线客机为基本型的多用途运输机。1970年12月25日成功首飞，1982年设计定型，1984年1月23日，获得中国民航总局正式颁发的适航证，1986年4月正式投入客运，从此打破了外国飞机垄断中国民航客运市场的局面。

运-7/100飞机先后有60多架投入使用，曾经是运营在我国支线航空市场上最大的机群，但是后来由于种种原因，运-7/100被勒令停飞，从此失去了全面占领市场的机会。1988年，西飞公司开始了运-7/200A飞机的研制，并于1993年12月26日成功首飞，1998年5月获得中国民航总局正式颁发的适航证。

时任中国一航第一飞机设计研究院院长吴光辉曾表示："'干支之争'归根结底都是为了生存之争。对困难现状的坚决告别和对中国民用飞机工业发展的强烈追求，成为每个人最初的人生价值与使命责任。事实上，我们始终盼望着能够在一个实际的项目当中去实践、积累和拓展我们的设计理念与技术，我们盼望着能够踏踏实实地走完一个民机研制的全过程，从市场开发到产品设计；从适航取证到交付用户；从产品支援到系列发展。"

1988年与德国MBB（梅塞施密特—伯尔科—布洛姆）公司合作的MPC-75项目，使正处于由仿制向自主设计进行过渡时期的国内设计师第一次触及"现代民机设计思路"，当时合作的工程技术主要包括：总体优化设计技术、强度载荷滚动设计技术、符合民机适航要求的强度分析与校核程序、民机气动弹性分析计算、复合材料设计、系统与产品规范编写方法等大量的设计标准、规范和手册。从那时起我们才明白设计商用飞机应该从哪里着手，怎样根据客户的需求考虑设计上的权衡，在之后的与波音和空客合作的AE-100项目中，至少在项目前期的论证过程中，我们的设计人员能够与波音和空客的设计人员按照现代商用飞机的设计理念进行对话。

原中航商用飞机公司总经理助理陈绥宁则认为："事实上，'干支之争'恰恰反映出我们的思想仍然停留在'我们只管造出飞机'这个旧有观念意识里，却忽视了发展民机产业最重要的一条规律是'获得商业成功'。至于'对外合作与自主研制之争'，关键不在于采取何种形式，而在于我们是否能够在项目中起到主导作用，是否能够做到降低成本满足客户的需求。MPC-75项目正是全面提升我国商用飞机研发理念的一次有益尝试，在项目过程中形成的与商用飞机相配套的技术转让成果，令国内进行商用飞机研发的人耳目一新，那种感觉就如同第一次听见了邓丽君的歌声！当时中方在14个工程技术与管理专业领域参与项目的预发展工作，主要内容包括：飞机初步设计工作、项目计划与控制、制造工艺与生产准备、适航鉴定与质保准备、市场和销售活动、产品支援准备、产品核算与财务分析等一整套现代商用飞机设计管理体系，都是我们在MPC-75项目中所学到的，并且应用

在了运-7/200A支线飞机的设计中。1989~1992年，我们按照涉及飞机设计的8个方面、32个专业成系统地组成了176人的人才队伍前往德国，完成技术转让合同的转让内容，这也是当时科技人员出国规模最大的一次。在MPC-75项目期间，德国人一个星期就能拿出一个设计方案，而我们要一个月。我们是靠人工描图，德国人是靠计算机编程画图。到了AE-100项目时，仅五六年的时间，我们的设计人员不到一个星期也可以拿出一个三维设计方案了。但是，在标准体系建设上仍然存在非常大的差距。”

王启明说：“最终，MPC-75项目由于国内做出研制干线飞机的决定而被终止，但是项目所形成的2600万马克的技术转让合同确是空前绝后的成果。”技术转让合同内容涉及8个大方面、32个专业内容、852个人月的培训工作，其中包含一个科学数据库系统、73个应用软件。主要有发展控制的修改程序、气动设计、结构动力学、性能、构型控制、结构设计、修理、系统设计、材料与工艺、适航、可靠性技术、质量保障、产品支援、市场开发与研究等。我们派出的176人包括总师、室主任、专业组长和技术员，是专业齐全、合理搭配的人才队伍。他们与MBB公司的工程技术人员一起，以MPC-75项目为对象，在实际的项目中提高了设计水平。通过技术转让，我们的设计人员首先在设计观念上得到了更新，对商用飞机的设计要遵从市场要求有了深刻的认识；通过合作了解了研制阶段的任何重大技术决策都受到用户要求、竞争能力、飞机价格、适航审定、产品服务等因素的制约，了解了研制商用飞机的完整体系，特别是在复合材料设计技术上获得了宝贵经验，西飞公司后来承担了A320飞机的4件复合材料零部件的制造。1993年，在航空航天部的支持下，西安飞机设计研究所将全套技术转让资料与软件向上海640所进行推广，提高了640所的商用飞机设计软件技术水平。至今，仍在国内进行商用飞机研制的人，相当一部分都是当年经过MPC-75项目培养出来的，例如FAI（原第一飞机设计研究院）的院长吴光辉、FAI的民机总设计师陈俊章、FAI负责适航的副总设计师朱余华、ACAC（原中航商飞公司）负责规划的总经理助理陈绥宁、ACAC负责市场销售的叶叶佩、西飞公司客户服务部的总经理张智仁等，这些人有理论、有实践、有经验，把当年学到的知识都用在民机项目上。

相比MPC-75，AE-100项目则是生不逢时！

在改革开放初期，邓小平曾经尝试用“巨额资本密集投入”的方式来迅速地拯救中国经济，但是，在发现这一计划无法实现的第一时间，邓小平就迅速地改变了战略，他开始把重点放在上万家国有企业改造上，期望通过对他们的放权让利，改造激发出生产积极性。西安飞机设计所和西飞公司敏锐地意识到应该充分利用国家给予企业的自主权，借助自身条件和优势主动谋求企业发展。商用飞机的研制取决于市场，企业拥有较大的主动权。此时，上海航空工业公司的MD-82飞机正在进行组装，西飞公司的运-7飞

机技术已经趋于落后。于是，在20世纪90年代初，西安飞机设计研究所、西飞公司与韩国大宇公司探讨如何共同开发一款新型支线飞机，从发挥各自所长的原则出发，确定了项目的合作模式：西安飞机设计研究所承担飞机的设计工作；西飞公司承担飞机的部分生产制造工作；韩国方面参加有关设计工作，承担部分生产制造任务，并提供型号研制所需的资金投入。1993年夏天，双方基本对94座的技术方案达成一致意见。与此同时，关于先发展干线飞机还是先发展支线飞机的争论也达到了高潮，西安飞机设计研究所明确提出我国商用飞机应该从90～100座级飞机起步的观点。

1993年中国国有企业改革进入了尝试探索建立现代企业制度的阶段，直接触及国有企业管理者与资产所有者之间的权利调整，取代了以放权让利为主线的初期改革模式。同年年底，中国航空工业总公司也正式通知西安飞机设计研究所和西飞公司：对韩国合作的新型支线飞机必须由中国航空工业总公司组织管理。随后，认为对韩合作纯属是企业行为的西飞公司总经理王秦平与西安飞机设计研究所所长李洪毅等人被召赴京统一思想。

时任国家总理李鹏与时任韩国总统金泳三在互访中达成共识，加强在商用飞机领域的合作，经双方认可将飞机定名为AE-100（亚洲快车100）。中国航空工业总公司基于减小项目风险，获得国外适航许可证的考虑，向世界商用飞机制造商发出了寻求AE-100国际合作伙伴的消息。随后，波音公司提出将AE-100作为B737飞机系列的向下延伸，设计工作由波音组织并在波音公司总部完成，并且，中韩必须为使用波音公司的技术资源和享受“波音公司”名称支付高达10亿美元的费用。这些苛刻的合作条件被当时渴望掌握项目主动权的中国航空工业总公司断然拒绝；而拒绝与麦道公司合作的原因则是无法容忍麦道公司在已经进入发展阶段的MD-95飞机与AE-100项目之间举棋不定的暧昧态度；在此之后，中韩之间的合作关系也出现了微妙的变化，并最终被中国、新加坡联盟所取代。

欧洲合作伙伴的选择与谈判也是个漫长而艰难的过程。中国航空工业总公司在拒绝了与德宇航的合作之后，与法宇航、英宇航和意大利宇航公司联合组成的亚洲国际飞机公司（小AIA）签订了初步合作意向书，但是小AIA的所有技术标准、技术诀窍全部归属于空客公司。1997年5月15日，中国航空工业总公司、由空客公司与小AIA组成的支线飞机公司（空客AIA）和新加坡三方签署项目框架协议。但是，原定于1998年2月18日在北京举行的最后一轮谈判，却没有举行……

1998年6月，中国长江流域发生了自1954年以来的全流域性大洪水，长江洪水泛滥是长江流域森林乱砍滥伐造成的水土流失，中下游围湖造田、乱占河道带来的直接后果。洪水导致29个省市受灾，死亡4150人，直接经济损失达2551亿元人民币。1998年8月28日，时任香港财政司司长的曾荫权当晚宣布：在打击国际炒家、保卫香港股市和港币的战斗中，香港政府

已经获胜。在两个星期的托市行动中，中方投入资金1637亿港币……全球舆论几乎异口同声地宣称，人民币如果不贬值，中国经济将举步维艰。

1998年6月17日，用于AE-100项目的100亿元人民币“总理基金”划出了中国航空工业总公司的账户，AE-100项目宣告终结。

1998年9月7日，在英国国际航空展上，空客公司正式宣布投资5亿美元研制107座支线飞机A318（与波音公司的B717飞机竞争），并且已经获得了109架的订单。所有业内人士都看得出来，这就是三个月前空客公司以“市场前景不乐观，没有足够的订货”为理由而终止与中国合作的AE-100项目！英国《金融时报》对此发表评论说：“这对中国正处于萌芽中的航空工业是猛烈的一击，使其成为重要的飞机制造商的计划丧失了非常关键的发展机遇。”

此后，“对外合作与自主研制”成为继“干支之争”之后又一个观念与舆论争论的焦点，对于飞机项目总装地点的“东西之争”也在这一时期初现端倪。韩国大宇公司一再要求将总装厂建在韩国；中国要求总装在航空技术实力雄厚、研制、试验、试飞配套的西飞公司。随着项目的进展，欧洲公司对西安和上海的考察增多，尽管他们认为西安的设计与生产能力远远超过上海，但是，上海的环境优势却显示了诱人的魅力，飞机总装由西安移往上海的思想由此萌芽。

飞机总装地点的选择涉及国家工业布局规划与发展战略的实施。1989年的风波竟意外地带给上海浦东一个发展机遇，当时中国遭到国际制裁，改革开放面临挑战，中央希望有一个举措在国际上树立中国更加改革开放的形象，邓小平认为：将上海发展起来是一条捷径。时任上海市市长的朱镕基随即提出：开发浦东，加快上海证券交易所的筹备。1990年浦东开发与上海证券交易所的建立成为上海振兴战略的“两翼”，有经济学家对此总结说，浦东的成功主要表现在经济上，但是市场经济的发展，绝不仅仅表现在企业与金融机构数量的增加上，市场国家的成功，无一不是市场制度的成功，上海建立与遵守市场规则的能力尚有待各方重新认可。

1997年3月21日，国务院决定将AE-100飞机的总装定点在西安。作为AE-100项目的最初策划者，西安飞机设计研究所承担了AE-100项目的5项技术攻关：超临界机翼设计和试验验证、商用飞机载荷分析系统、AE-100复合材料结构设计技术、AE-100电传操纵系统攻关、产品数字化设计和管理；西飞公司主要负责AE-100胶接机翼壁板喷丸成型技术研究与应用。这些技术攻关内容涉及我国在大中型运输类飞机研制中存在的关键性问题。但是，在AE-100项目结束后，中国商用飞机领域再没有了可以继续实践的项目，这些技术攻关的实践与取得的阶段性成果不能得到实际应用与继续发展，就连这支商用飞机研制队伍也不能被完整地保留下来，对于商用飞

机设计理念的认识随之也出现了不小的倒退（德国多尼尔D728项目结束时，同样希望能够完整地保留设计队伍；而印尼飞机工业公司被冲垮之后其大部分优秀人才都被波音和空客公司吸收）。更为可惜的是，MPC-75项目的技术转让成果也随着大部分人员的流失而成为断编残简，没有真正在中国土地上形成商用飞机领域急需的设计与研制体系。

事实上，在当时，100座级是一个非常敏感的飞机选型，因为这是大型飞机与支线飞机衔接的地方，缩短一点就是支线飞机，但是只要加长一点就会直接与空客A318（107座）与波音737-500（108座，1989年6月30日首飞）型飞机产生直接的竞争。所以，波音公司和空客公司既不愿意冒险进入支线飞机市场，同时，他们也必然联合起来对任何敢于觊觎大飞机市场的飞机制造商予以致命打击，即使是那些有能力进行独立研制的飞机制造商也不能逃过被劫杀的命运。因此，中国试图通过与波音或者空客进行合作，然后再将所学到的技术与经验用于制造自己的大型商用飞机的梦想，无异于与虎谋皮……

原中航工业第一集团公司总经理刘高倬在一次采访中对此总结说："对属于高科技领域的航空工业来说，占据领先地位的先行者，为了保持其对技术的垄断地位和丰厚的利益，是不会愿意让后来者轻易地与自己分享这块市场的，这是现实，也是一种必然。"

比AE-100项目更充满悲情色彩的是印度尼西亚政府出资制造的130座级涡桨飞机N-2130，亚洲金融危机的爆发不仅断送了这个飞机项目，更为重要的是，印度尼西亚政府通过制造这款飞机来建立本国飞机制造业的梦想彻底破灭。

印度尼西亚被誉为"千岛之国"，是一个非常适宜发展航空运输业的国家，印尼政府也一直把发展航空工业作为一项重要国策。印尼总统苏哈托委托在德国学习飞机制造的优素福·哈比比（Bacharuddin Jusuf Habibe）博士于1967年8月23日组建了国营印度尼西亚飞机工业有限公司（简称努桑达拉公司）。在哈比比博士的支持下，努桑达拉公司从西方大量引进有实践经验的专家，同时还派出了大批技术人员到西方学习航空制造技术。公司鼎盛时期员工近20000人，其中工程师占10%。印尼政府在1981年还颁布了一项法令：凡印尼国产飞机能够满足要求的，国内无论军队还是民用部门都必须买国产飞机，不准进口。就在印尼政府的政策保护下，印尼国内市场才对国产飞机敞开大门，印尼航空业才得以迅速发展。

1979年，努桑达拉公司与西班牙CASA公司合作研制了35～40座的CN-235，不但满足了国内需要还实现了出口；1989年，努桑达拉公司独立研制了50～54座的新一代支线飞机N-250；1994年，根据市场的变化研制了60～70座的N-250/100型支线飞机；与此同时，努桑达拉公司还将研

制130座级涡桨飞机N-2130。

然而，就在N-250还差一年就可以取得美国联邦航空局（FAA）和欧洲联合航空局（JAA）适航证的时候，亚洲金融危机的爆发使印尼经济陷入瘫痪，努桑达拉公司被亚洲金融风暴冲垮了。

多年后，美国《时代周刊》发表评论说，印度尼西亚在20世纪90年代就已领教了航空业市场的深不可测……

在抗洪救灾、保护长江流域生态环境之后；在保卫香港股市和港币的托市行动之后，中国政府又将怎样拯救中国民用航空工业——这个国家战略型产业岌岌可危的生命呢？

1998年，在国防科工委的20年产业规划报告中指出：2010年之前，中国不再搞整机研发。当年的信息制度并没有像今天这样快捷而透明，甚至被外国学者称为“透明猫”时期。当时这份文件虽然仅仅在小范围内进行了传达，但是带给整个民用航空工业的震惊在多年后仍令当事者记忆深刻。

1998年，AE-100项目解散时，参加过MPC-75与AE-100项目的设计人员在北京告别，面对吉凶未卜的前途，他们极其悲壮地喝了一次酒，几十号人站在祖国的星空下掩面痛哭：这一辈子恐怕是再也别想研制民机了！他们站在祖国的蓝天下拥抱告别：祖国的蓝天上怎么就飞不起来中国的商用飞机？

AE-100项目之后，中国民机工业的中流砥柱，一部分成为汽车领域急需的新鲜血液；一部分则把在国外学习到的先进的技术应用于开发游乐园的摩天轮和超级秋千。挥之不去的“民机情结”在摩天轮的旋转中被渐渐绞碎……

中国民机研制再次失去方向，这一次真的是到了危机的边缘，甚至连星星之火也即将熄灭……

事实上，比技术递进显得更为迫切的问题却是企业人员的生存状况。1996年，商用飞机设计人员开始大量流失，就如同汩汩的鲜血从破裂的血管里无声地流逝……

无论是上海飞机设计研究所还是西安飞机设计研究所，1996年生活几乎都陷入了绝境，连职工的工资发放都成了问题。在西安阎良，所里为了完整保留设计队伍，他们曾经只实行半天工作制，而把所里节约下的能源经费作为工资发给职工。当时，就连阎良当地经营蔬菜的小商贩都抱怨说：“100座下马了，我们的菜价也上不去了。”

“军队要忍耐”使中国军队建设主要以防御为主，武器装备更是在多年间仅仅处于简单的维持，全军除特殊装备外，基本是处于只预研而不生产的状态。时任西飞集团公司党委书记孟祥凯回忆说：“西飞公司是从事大型军事装备生产的企业，当时国家的战略是国土防御，导致我们的产品一直只有很少的订货量，企业发展也不受重视。西飞公司30多年才生产了200多架飞机，这只是生产歼击机厂家两三年的生产量，我们一直生活在强烈的生存危机当中。”在最困难的时候，西飞公司的民品产业为企业的后续发展提供了支撑作用。“当时，西飞公司下面有300多家企业，随着市场竞争的激烈，现在有些企业的效益下降了，但是，当时这些企业是发挥了历史性作用的，没有这些企业创造的效益，西飞公司人心会涣散，生活会很艰苦。”孟祥凯感慨地说。1994年7月1日，《公司法》正式颁布，中国企业步入与国际惯例接轨的规范化管理时期，一种叫作“现代企业制度”的改革新模式在国有企业中开始推行。随后，西飞公司由17000名自然人和5名法人发起设立“西飞国际股份有限公司”，这是西飞公司资本运作的第一例。

1996年，上海飞机制造厂不断听到波音公司要兼并麦道公司的消息，“我们的生产速度越快，就越觉得自己末日快要来临了，MD-90飞机干的时候就很悲哀，飞机飞起来的时候，又成了我们断粮的时候。”当第二架MD-90飞机试飞即将结束的时候，时任上海飞机制造厂执行副厂长王文斌，准备到上海的一家美国公司去打工。公司董事长面试就提了一个问题：“你在中国国有企业职位不低，为什么要来打工？”王文斌回答得也非常坦率：“我的梦想还是造飞机，但是现在我们没有飞机造，估计在很长的时间里都不会造飞机，所以我需要找点事情干。”董事长毫不犹豫地同意了他“年薪税后18万”的要求，回来后，他却被上海航空公司总经理李万新以年薪6万留了下来。自从20世纪80年代，上海飞机制造厂就开始与新加坡、中国香港的一些飞机维修公司进行合作，MD-90项目结束后，上海飞机制造厂决定将最好的技术工人送到这些公司去打工。王文斌说：“当时的想法就是用劳务输出的办法将最好的技术工人储备下来，工厂提供所有的条件，挣的钱都归个人，唯一的条件就是工厂开始制造飞机的时候必须回来！”

与此同时，上海汽车集团公司已经看到了汽车工业自主研发的重要性，在上海市政府的支持下，上汽集团有意要将上海飞机设计研究所整编制接收，成为上海汽车集团公司的汽车研发中心，甚至希望通过整编把民航所管辖的龙华机场建设成为上海的汽车城。

最终，这件事被原中国航空工业总公司总经理朱育理断然叫停！

1997年，中国打响了国企脱困的攻坚战。那一年夏天，时任国务院副总理的朱镕基亲临原中国航空工业总公司旗下的黎明公司督战，面对着连买煤

过冬的钱都拿不出的困难企业，朱镕基狠狠地批评了改革攻坚不力的企业干部，责令黎明公司干部克服畏难情绪，努力推进改革脱困。然而，冰冻三尺非一日之寒，在推进下岗分流改革过程中的矛盾非常尖锐，酿出了一名下岗职工杀害了企业中层干部一家三口的惨剧。黎明公司的改革脱困攻坚陷入了僵局，成了整个航空工业改革脱困攻坚战中的一个久攻不克的要塞。

1998年“两会”的闭幕式上，意气风发的新总理朱镕基豪情万丈地说，哪怕前面有地雷阵，有万丈深渊，也要鞠躬尽瘁，死而后已。外电对此评价说，中国的改革闯进了两个雷区：一是国企改革；二是机构改革。

生存！成为那个时代中国企业家唯一的梦想！而在当时那样的历史背景下，原中国航空工业总公司还能够做出叫停“上汽集团整编上海飞机设计研究所”的决策，不能不令今天的人们肃然起敬！随后，基于打破垄断、增强竞争的大跨度拆分重组在国资垄断领域展开了，军工领域的五大集团公司拆分成为10家集团，军工企业中一贯低调求稳的企业家群体此时也被推上改革浪尖，他们身上的企业家潜质得到了前所未有的激发与展现。

早在1996年，为了解决生存问题，上海飞机设计研究所就曾为上海大众汽车工业公司进行了CATIA软件工程应用培训，并先后参与过上汽集团的一些项目，包括桑塔纳2000的设计，并与泛美公司一起搞过汽车设计；而到了1999年，为了进入上海汽车这一支柱产业，他们还参与了上海通用汽车公司新型家用轿车“赛欧”的开发。

1998年下半年，原中国航空工业总公司已经开始酝酿“东西整合”，即对西安飞机制造厂、西安飞机设计研究所与上海飞机制造厂、上海飞机设计研究所进行合并，并以此作为理顺体制、适应中国民机工业发展的一项重要举措，并得到了国防科学工业委员会的支持。当时，科工委表示：民机要下决心合并，两个所合并步伐越快，动作越迅速，科工委支持就越大。

虽然上汽集团整编上海飞机设计研究所的想法最终没有获得成功，但导致了大量的飞机设计人员向汽车领域的流失，而这种失血现象一直到2007年才彻底停止，长达10年之久的人才流失使中国商用飞机设计力量元气大伤……

这些没有成功的合作项目却注定了要触动一些事情

> “有两种事物，我们越是经常、持续地对它们反复思考，它们就总是以时时翻新、有增无已的惊叹和敬畏充满我们的心灵：这就是头上的星空和内心的道德法则。”

——康德《实践理性批判》

万千事中，最怕“执着”二字！万千事中，更敬畏“使命”二字！在民机研制道路上渐行深远的这支力量被强烈的热情驱使着：一定要让中国人自己的飞机飞起来！航空工业界内部在共同的心愿下快速形成“民间的研制联盟”，纷纷开始新型支线飞机的可行性论证工作。

世人常曰“世事如棋”，其实棋何尝不如世事。棋之争也公开，而输赢也清白，初未如世事之诡谲难明，然最后结局之胜负荣辱，其得失之道又仿佛相吻合。即使遭遇命运的“打劫”，又有谁愿意就此弃子投降！

1998年5月18日，曾任AE-100项目中方总设计师的西安飞机设计研究所总设计师王清平说服了时任西安飞机设计研究所所长的李洪毅，决定作为民品项目推出一个70座级、采用“2＋2”布局、窄机身的支线飞机——NRJ。国内前后共有6家企业参与研制，西飞公司、哈飞公司、陕飞公司、上航集团、上海飞机设计所和西安飞机设计研究所，各投资金10万元成立工作团队，大家一致认为即使国家不投入，只要飞机选型好，有市场就贷款一起研制。随即他们对国内市场展开充分调研。1999年，当意向订单达到98架时，他们向国防科工委提交立项报告，希望国家能够给予资金支持。

1999年1月，NRJ飞机因为资金链断裂而宣告失败！

或许，在一些人眼中，中国的企业家天生带有一种悲壮感，因为他们在用个人的力量为这一场“试错”式的改革作试验品。因此能否成为伟大，永远不是他们内心最基本的冲动，而生存才是……

即使他们仍然处在生存的困境中，但是，他们开始展望未来，寻找自己在世界范围内的新坐标。尽管NRJ是“民间”的草莽所为，而且被航空工业正统的“官方”所不屑，甚至在中国民机产业的正史上鲜有关于它的记载，但我们可以清晰地感受到，它正发生着一场影响深远的裂变。

NRJ的运作模式最终在新舟60（MA60）和ARJ21项目中被保留下来，并且得到更加完善的发展。同时，资金链的断裂也留下了更为关键的启示：要发展航空产业，仅仅有较雄厚的存量资源也是无济于事的，企业必须具备通过市场进行融资的能力，单纯依靠政府投资已经不再适合现代商用飞机的发展需求。林左鸣后来评论说：“殷鉴不远，这就是我们提出‘专业化整合、资本化运作、产业化发展’的原因。”

现代商用飞机发展的理念已经萌芽。

这些没有飞起来的飞机——ATFA（与麦道合作）、UHB（与波音合

作）、MPC-75（与德国合作）、AE-100（与空客合作）、NRJ（国内自主研制），甚至还有那些来不及命名就被抛弃的设计，它们并没有改变中国没有自己的商用飞机的现实，但是，这些没有成功的合作项目却注定了要触动一些事情。中国民用航空工业在这些触动下积累、沉淀、反思，他们在反思中变得更加执着、更加自信；他们相信站在了现代商用飞机发展道路的入口；他们呼吁着更广泛的社会认同；他们等待着再一次发力的时机。

革命性的跨越并不一定需要革命性的过程，但它必须是一种慎重决策的结果。

在伺机守时的岁月里，上海、西安按照各自的技术条件与对商用飞机理念的不同理解，各自独立地逐步进行，走上了完全不同的发展模式，而“干支之争”“东西之争”和“对外合作与自主研制之争”也成为伴随中国民机发展过程中永不停息的争论。当怀有各种诉求的利益集团和个人在与互联网的传播力量结合之后，这个行业里的事情就变成了公共事件，争论也随之升级成为舆论战。但无论是上书、争论还是舆论战，都没能够使渴望成功的人们发现永恒的商业规律。

1999年，NRJ项目的失败反而激发出西安民机团队更大的“叛逆”与冒险，现代商用飞机设计理念使他们变得更加关注市场的变化，更加关注客户的需求，也许NRJ获得的98架飞机的意向订单也更坚定了他们进军支线航空市场的信心，“既然不能进行新机研制，何不按照现代商用飞机的理念对现有产品进行脱胎换骨的改进”！于是，一种典型的具有国际先进水平的涡桨支线客机——新舟60飞机（MA60）诞生了，而它的原型机就是运-7/200A飞机。

1999年，西飞公司开展“精品形象工程”，在运-7/200A飞机基础上按照市场和客户的实际需求，对飞机外观、质量和舒适性等方面进行了20多项改进，并且首次通过国际合作方式，选用了国外系统供应商的成熟产品：加拿大普惠公司最新研制的PW127C涡轮式低油耗涡旋桨发动机、美国柯林斯公司的航电系统、霍尼韦尔公司的导航系统和汉密尔顿公司的247F-C全复合材料、高效、低噪声四叶螺旋桨，噪声由过去的90分贝左右下降至82分贝左右，油耗下降了30%左右，飞机由此发生了脱胎换骨的变化。
1999年，具有自主知识产权、严格按照CCAR 25部适航标准进行验证的MA60飞机首飞成功。2004年，首架MA60远销津巴布韦，成功地飞出国门打入世界民机市场。同时，这种通过国际合作选择系统供应商的模式也为ARJ21项目的发展积累了经验。

虽然MA60飞机并不属于新机研制，但它是中国民机工业首次具有商业理性主动尊重市场规律的客观选择。MA60飞机几经市场沉浮，经历了退出

国内市场，打入国际市场，再重返国内市场的反复过程，伴随着每一次产品的更新，终于建立起商用飞机必须走向市场获得成功的概念。MA60飞机另一个重要的价值还在于，它是中国商用飞机产品中真正在售后服务保障方面经受过考验的飞机，而在此之前，我们在客户服务、产品支援队伍与体系建设方面毫无经验。西飞公司目前向海外派出了专门的技术人员进行外场产品售后服务，针对MA60飞机备件支援距离远、备件运输通道单一、信息传递手段落后的局面，西飞公司编制了应急程序文件，建立了产品应急支援体系，对紧急备件设立了绿色通道。截至2008年1月10日，MA60飞机订单达118架，MA60飞机在海外运营情况良好，技术签派率达到了99.6%；通过对旅客的调查，84%的乘客对MA60飞机的舒适性表示满意。

但是MA60飞机也留下了非常大的遗憾，当时西飞公司为了尽早交付用户而错过了取得美国联邦航空局（FAA）型号合格证的最好时机，从而失去了打入欧美等发达国家支线航空市场的机会。所以在ARJ21项目中原中航工业第一集团公司也更加坚定地要求，哪怕是慢一点，也要取得FAA的型号合格证，为ARJ21-700进入国际市场扫清障碍。

上海的民机团队缜密细致，始终关注上层决策，在运-10飞机的资料里详细地记录着每一位领导的讲话，甚至可以查到与会记者的人数。这种精细使他们制造出来的飞机质量是令人满意的。当年，FAA就曾向麦道公司指出："上航公司的质保体系是由麦道公司延伸过去的，但目前看来，真正的质量管理还在上海"，这恰恰是为什么他们后来对MD-90的技术理念不愿越雷池一步的原因。

而与其产生鲜明对比的则是，西安的民机团队粗犷豁达，始终关注市场变化，在MA60飞机的资料介绍中甚至没有记录"2003年3月12日，中共中央政治局委员、国务院副总理吴邦国，全国人大常委会副委员长邹家华、许嘉璐、蒋正华等同志，相继乘上MA60飞机亲自体验飞行"这件重要的事，也许他们认为加强产品质量、与客户进行有效沟通，这些加强企业内功的行为远比拉着总理帮助卖飞机更为重要。但这种粗犷有时也令他们行为桀骜不驯，错失FAA适航证就是为此而付出的代价；这种粗犷也体现在他们制造出来的飞机总是因为工艺缺乏细腻而受到业界的批评。为了除去他们所继承的俄罗斯制造技术风格的基因，原中航工业第一集团公司不得不始终对他们强化输入"精品工程"的观念。

无论是上海，还是西安，虽然他们独立前行，按照不同的方式诠释自己的理想与价值，但是他们都始终没有放弃对中国民机工业的探索与虔诚的追求。以上海为代表的"国家意志"派与以西安为代表的"市场意识"派，这两股力量终于在新世纪里汇成了一股合流，在保留差异的情况下，创造出了一个共同行动的立场——按照国际惯例与市场规则行动！民机产业化发展

必须是在获得“国家意志”的同时建立起强烈的“市场意识”才能最终获得商业成功。

我们从没有放弃过追求与努力

试水之航的号角一旦吹响，破冰之旅就更值得人们翘首以待。

21世纪的钟声敲响，久久叩问天空的人们也迎来了民机发展的世纪大转折，任何模糊与不确切的猜测都被来自于各个层面的明确回答所代替。

1998年3月，刘积斌出任第一任国防科工委主任之后，就开始着手准备向国务院汇报中国民机的发展思路。科工委组织了20多次的各种会议，涵盖了不同的层次，包括国务院各有关部委、地方政府与航空工业界的一些院所。经过了一年多的激烈讨论之后，刘积斌终于统一了各个方面的认识。1999年6月，在经过了13次易稿之后，终于形成了《关于我国民用飞机发展思路的报告》。在整个报告当中就突出了一个重点：先发展新型支线客机，最终达到“使中国能够生产出在国际上属于先进水平的商用飞机，形成具有竞争力的民机产业”的目标。

“第一阶段，先研制具有市场竞争力，并且受到国内民航公司普遍认可，能够取得FAA的适航证的新型支线客机；第二阶段，按照循序渐进，系列化发展的原则，在批量生产新型支线客机的同时启动窄体大型客机，机载系统还是需要国际采购；第三阶段，再将飞机发动机、机载系统立足于国产化，最终形成民机产业。”2000年2月15日，朱镕基、李岚清、吴邦国等领导在听取完刘积斌的汇报后，当即就首肯了这个民机发展思路。而且，李岚清表示非常赞同先从新型涡扇喷气支线飞机起步。2000年3月12日，李岚清、吴邦国等领导亲自乘坐了在北京南苑机场举行飞行表演的新舟60飞机。

然而，发展新支线飞机项目的决定刚一宣布，随即就引发了一场甚嚣尘上的“项目争夺战”。对于由谁来主导中国民机产业的发展，已经不再是互为竞争对手关系的中国航空工业两大集团公司之间的博弈，此次，有条件的地方政府也加入了群雄逐鹿的战局，希望入主商用飞机制造领地。愈演愈烈的争夺在地方媒体的广泛参与下，快速地演变成为情绪化的争吵，并且导致了后来“大飞机项目”的争夺。

当时，国家做出了一个折中的决定，在同意中国航空工业第一集团公司研制新支线飞机的同时，也批准了中国航空工业第二集团公司与巴西航空工业公司合作组装生产ERJ-145飞机的请求。

2000年11月，珠海航展期间，时任原中航工业第一集团公司总经理刘高

倬对媒体宣布：经过半年多准备，根据国防科工委的要求，中国航空工业第一集团公司决定，按照现代企业制度，组建规范的有限责任公司——新支线飞机项目公司，作为新支线飞机项目的责任主体和经营主体，申请并持有新支线飞机的TC（型号合格证）、PC（生产合格证）具有外贸进出口权。

而在此届航展上，巴西航空工业公司也向外界透露，他们将与中国航空工业第二集团公司所属的哈尔滨飞机工业集团进行合作，在中国组装生产ERJ-145飞机（50座级），以满足中国支线航空市场的迫切需求。

国家也明确规定，引进项目不能与ARJ21-700飞机直接产生竞争。

2001年11月5日，吴邦国副总理视察哈尔滨飞机工业集团（哈飞集团）时说："联合开发支线机是一件大事，要注重合作方式，一定要寻求一种途径，既能够学习到对方的核心技术，又要有经济效益；既能提升我国支线飞机的开发能力，又能使像哈飞集团这样的大型国有企业进入良性发展轨道。"

自2000年11月17日起，新支线飞机项目公司（筹）在上海集中办公，任务是兴办一家好公司（中航商用飞机有限公司），选准符合用户需求，能为营运支线空运创效益的新支线飞机产品市场切入点。同以往夭折的商用飞机项目相比，新支线飞机项目具有以下特点：

——新支线飞机将坚持以我为主的发展道路，在立足于国内科研生产力量、掌握自主知识产权的基础上，积极开展多种形式的国际合作，按照主制造商—供应商模式研制生产。总装、交付、客户培训和服务基地设在上海。

——新支线飞机将坚持采用新的运作机制和管理模式，实行国家、地方和企事业单位"共同投资、共担风险"的市场运作机制，多方式、多渠道进行融资。并由中国航空工业第一集团公司、上海航空工业集团、西安飞机制造厂、原西安飞机设计所、原上海飞机设计所等15个企事业单位加盟ACAC成为股东。

——新支线飞机将坚持以市场需求为导向，以满足国内市场需求为主，积极开拓国际市场，充分利用航空工业的优势，开展全国大协作。

2001年8月20日，中国航空工业第一集团公司向国防科工委上报了《关于新型涡扇支线飞机项目立项的请示》；2002年1月16日，国家发展计划委员会对民机研制程序、发展途径、研制经费、组织结构、运作模式和市场等有关问题提出意见；2月19日，国防科工委就新支线客机立项问题致函

国家发展计划委员会；直到2002年6月14日，国家发展计划委员会才正式批准新支线飞机项目立项。新支线飞机项目从国家决策到政府部门正式批准立项用了18个月的时间。

正如国外观察家所说："中国正在凭借ARJ21-700飞机学习如何研制、销售和提供产品支持等一系列现代商用飞机发展的理念与手段，40年来，他们从来没有放弃过这种追求与努力。"

时任国防科工委主任刘积斌在接受笔者采访时表示，中国（民机产业）始终在徘徊，没有走出一条自己的道路来，而且与国际上的差距也越来越大。在很长的一段时间里，大家的思想并不一致，一直争论不休，各方观点莫衷一是，政府部门始终也没有一个能够统一人们认识的、权威的、高瞻远瞩的发展战略。

中国的民机产业得到历届国家总理的关心：第一任国家总理周恩来（1954~1976年）：运-7飞机、运-10飞机；第三任国家总理（1980~1987年）：MD-82干线客机、MD-90干线客机；第四任国家总理李鹏（1987~1998年）：MD-90干线客机、AE-100项目；第五任国家总理朱镕基（1998~2003年）：ARJ21-700支线客机；第六任国家总理温家宝（2003~2013年）：大型运输机与大型客机。

这些无疑都证明了国家始终具有研制中国人自己飞机的愿望与不懈追求，而越来越具有商业理性与企业家精神的中国民机产业，在自强、兴企、报国、富天下理念的不懈追求下也必然摆脱长久以来伴生品的地位，最终走上产业化发展的道路。

25年的时间不足以发展出一个成熟的商业社会，公司与政府和社会之间的复杂关系，我们仍不知如何处理。我们的商业世界在过度的赞誉和缺乏基本权力之间左右摇摆。正是如此，中国民机产业还将经受时间的磨砺，在无数的挫折中走向成熟。

---

[2] ［美］乔·萨特，杰伊·斯宾塞.未了的传奇［M］.李果，译.北京：航空工业出版社，2008.

[3] 齐向武，韩天雨.上飞四十年［M］.北京：中国经济出版社，1990.

第二章
关键时刻



ARJ21-700飞机是我国自行研制具有完全自主知识产权的新型涡扇支线喷气客机。项目研制采用“主制造商—供应商”模式，选用了19家国外知名供应商参与系统研制

ARJ21-700飞机要卖出250架之后才能实现赢利。

如果，未来真的如同2000年原中航商飞公司所预测的那样：未来20年，国内支线客机市场需求将达到900架，国际支线客机市场需求将超过4000架；如果，我们拥有足够的设计、生产和管理能力的话，那么，15年后，ARJ21-700飞机将为原中航商飞公司带来巨大的利润；如果，国家各个层面都能够不断达成更多的共识，能够使一切行之有效的理念与手段得到秉承与持续的话，那么，ARJ21-700飞机必将成为中国第一架真正实现追求技术领先并获得商业成功的飞机。

支线客机购买热掀起了国内支线航空市场的争夺战

“我们对国际航空市场进行了研究，对未来国内航空市场前景进行了考察和综合分析，在此基础上，我们确定了ARJ21-700飞机的选型与市场定位。”时任原中航商飞公司总经理汤小平如是说。

所谓支线客机，通常是指100座级以下的小型旅客机，主要用于大城市与中小城市之间的旅客运输。20世纪60年代，支线航空开始兴起，并且发展迅速。1978年，美国对民航运输业采取“放松管制”的政策，加速了支线航空的发展。20世纪90年代，新型喷气式支线客机的出现，在航空运输领域掀起了一场“静悄悄的革命”。一些航空公司开始利用新型喷气式支线客机航程长、机型小的特点，采用“绕过枢纽”的新战略，开辟新的航线。这些新开辟的“瘦长航线”与低成本航空公司的“点对点”服务联合在一起，形成了对枢纽航线统治地位的夹击，从此，支线航空在北美市场脱胎换骨，面目一新。

在美国，支线航空快速发展的动力主要有三个：管制环境的变化、航线网络的重组以及飞机技术的进步。

在放松管制之前，美国支线航空公司载运的旅客量不到主干航空公司的4%，自从放松管制以来，在1978～2000年间，美国支线航空旅客以每年10.1%的速度增长，是主干航空公司旅客4.1%增长速度的两倍多。

更为重要的因素还在于，美国干线航空公司开始着手于航线网络的改变，围绕它们的枢纽城市建立航线辐射集群，这就从根本上改变了干线航空公司与支线航空公司之间的关系：从竞争的关系转变成为互补的关系，这是支线航空发展最主要的动力。

上述两种力量同样也加速了中国支线航空市场的发展。

2000年7月21日，中国民航总局宣布，将直属的10家航空公司以中国国际航空公司、中国东方航空公司、中国南方航空公司为基础重组成为三大集团。虽然，航空公司仍旧处于航线管制的环境下，但是，民航重组成为中国航空运输业向市场导向行业转变的开始。当价格和航线管制逐渐开始放松时，竞争和联合将继续改变和形成新的航空运输业结构。一些航空公司将成为专注于缝隙市场的航空公司、低成本航空公司或支线航空公司，喷气式支线客机将会成为他们的一种有效竞争工具。

“9·11”事件极大地打击了全球的航空运输业，欧美航空运输业以及欧美经济的不景气，促使全球资本更加关注新兴的亚洲市场，尤其是中国市场，大多数业界观察家都认为，中国将会成为远程客机和支线客机的最大买家。

2001年北京第九届国际航空展览会，原中国航空工业第一集团公司（AVIC1）首次发布的预测年报指出，随着国内旅游业的快速发展，中国加入世界贸易组织，2008年北京举办奥运会，国家实施“西部大开发”战略，以及国内航空公司的联合重组，所有的这些因素都有利于中国航空运输市场的发展。报告预计，未来20年，中国商用飞机市场将不断扩大，到2020年，中国100座级以下的支线客机将达到583架。

同日，波音公司发布的预测指出，未来20年，中国对商用飞机的需求为1764架，价值1440亿美元，到2020年，中国的航空公司将拥有2200多架飞机，中国将成为仅次于美国的全球第二大商用航空市场。波音公司总裁菲利浦·M.康迪（Philip M.Condit）同时表示，波音公司也将力争在开拓中国支线客机市场方面有所作为。

那一时期，全国23家航空公司纷纷拟订了支线航空发展计划，其中，海南航空公司新购置4架多尼尔-328飞机；山东航空公司、上海航空公司先后各购置2架挑战者-200飞机；四川航空公司购置ERJ-145飞机；新疆航空公司购置ATR系列飞机。一些大型航空公司也将购买支线客机列入发展计划，东方航空公司与庞巴迪公司签订了购买10架CRJ系列飞机的合同。

来自有关部门的资料显示，当时，各地航空公司汇总到国家民航总局的购买支线客机的数量已经达到200多架，民航业内人士认为，支线客机的购买热潮，必将掀起激烈的国内支线航空市场的争夺战。

2000年5月，一架ERJ-145飞机在中国6个城市进行了飞行表演，这是巴西航空公司首次针对中国航空市场进行的飞机营销，ERJ-145飞机灵活的操纵性能、良好的经济性能以及宽敞明亮的客舱，给中国观众留下了深刻的印象。9月25日，首架ERJ-145飞机交付四川航空公司，巴西航空公司正式进入了中国航空市场。2001年，巴西航空公司准备在中国开设ERJ-145飞机的总装生产线。

2000年9月，庞巴迪公司在北京设立的备件寄售中心正式开业，中心将为中国用户的CRJ-200飞机、冲8Q- 400涡桨飞机提供售后服务。11月15日，山东航空公司准备用庞巴迪公司提供的CRJ-200飞机，首次试飞青海格尔木—西藏拉萨航线，庞巴迪公司表示，更希望能够将75座级的CRJ-700飞机推入中国市场。

2000年11月，波音公司总裁菲利浦·M.康迪在第15次到访中国期间对媒体表示，在未来5年到10年内，波音公司将与中国合作生产100座级的支线客机，此前，波音公司106座级的B-717飞机已于1998年9月成功首飞，并且获得了115架确认订货和110架的意向订单。在1998年以前，波音公司与空客公司都是不生产100座级的飞机的，而如今，两家巨头却同时把注

意力放在100座级的支线客机上。

2000年11月，一份被媒体称为“在中国航空业发展史上具有里程碑的意义”的意向书在海口签署：海南航空公司、美德合资企业仙童—多尼尔飞机公司、原中国航空工业第一集团公司、原中国航空工业第二集团公司要合作研制生产多尼尔支线客机。媒体介绍说：“这是我国首次由航空运输企业、航空制造企业联合与国外飞机制造商共同研发的飞机项目。”

2001年7月，德国多尼尔公司飞机设计主管阿恩表示，现在与中国合资生产飞机的时机已经成熟，多尼尔公司已经做好了全部准备，希望在中国寻找合适伙伴，共同生产多尼尔528飞机，并向中国和世界市场销售，此外，多尼尔公司愿意让中国工程师们到德国来进行培训与交流，并愿意将关键技术转让给中方。

2001年11月24日，全球最大的支线客机制造企业之一，意大利阿莱尼亚公司高级副总经理萨尔瓦多，刚刚踏进成都市，便迫不及待地表明了来意：“我们需要与中国西部的企业合作！”萨尔瓦多此次西行的主要目的，一是卖飞机，二是制造飞机。萨尔瓦多表示，下一步将对有合作意向的西部企业进行考察评估，阿莱尼亚公司还将依照成都企业的要求来“量身定做”详细的合作计划，包括从最终组装生产线到零部件生产等，一旦敲定合作对象，将在12个月内完成货机改装的转让，36个月内完成ATR飞机生产与组装的转让。

俄罗斯苏霍伊设计局发言人在莫斯科说，公司将会和伊柳申设计局、波音公司合作，在2006年设计并生产出地区性短途支线客机，这款客机将在俄罗斯制造，航程可达6000公里，机舱布局将会有55、75或95个座位。

以色列飞机工业公司总裁兼首席执行官凯瑞特透露，以飞机设计、生产和维修三位一体见长的以色列飞机工业公司不久将与中国航空公司合作。

……

2000年年底，世界飞机制造商几乎全部向中国支线航空市场进军，他们纷纷找寻中国飞机制造企业、航空运输企业、地方政府以及地方企业作为支线客机项目的合作伙伴。从当时媒体的报道中可以清晰地了解到, 如同20世纪80年代的情况一样，“技术合作”与“在中国建立生产线”再次成为国外飞机制造商撬动中国市场的最有力支点。表面上，他们纷纷宣布，“希望与中国共同研制支线客机”，实际上，他们的目的始终只有一个：争夺中国支线客机市场份额。

对中国支线客机市场近600架飞机需求的争夺战才刚刚开始！

原中航商飞公司已经听到了隐隐的战鼓声，他们深知，这是战争前最后的宁静！

原中航商飞公司在ARJ21-700飞机座级的选择上颇费了一番周折，市场客户的需求与国家的决策产生了现实冲突……

根据调查数据以及国外的对比分析结果表明，当前小型支线飞机有两个局限性：一是单位成本相对较高，集中于西部的中国支线市场潜在需求高但支付能力低，所以，小型支线飞机在北美虽能大行其道，但是在国内市场却始终红火不起来。二是受制于机舱布局，支线客机的舒适性不如干线客机，随着航距的增长，高收益商务旅客对产品的要求提高，支线客机与干线客机的产品不能保持一致，这始终是品牌航空公司的一大顾虑。

国内航空公司普遍认为，70～90座级的支线客机才能真正在运营中赚钱，但是，航空公司的需求与国务院明确要求“研制30～70座级支线客机”的决策产生了现实冲突。在原中航商飞公司内部，甚至有人揣摩国家的真实意图是希望研制50座级的客机，得出结论的理由却非常耐人寻味，运-10飞机是150座级，MPC-75项目是75座级，AE-100项目是100座级，那么，ARJ21项目只能是50座级（30＋70＝100，100/2＝50）。

选择50座级？！显然这不是一个明智之举，因为，此时庞巴迪公司已经与国内7家地方航空公司签署了销售35架CRJ-200支线客机的协议书。巴西航空工业公司的5架ERJ-145飞机也于2000年7月交付了四川航空公司。CRJ-200和ERJ-145这两种机型都是50座级。

面对日益激烈的市场竞争，原中航商飞公司必须在设计之初就明确ARJ21-700飞机相较于对手的优势，并最终实现这些优势。

承担风险是飞机制造行业的一条重要法则

承担风险，是飞机制造行业的一条重要法则。

商用飞机制造行业，在通往获取利润的道路上，将会遇到一系列令人望而生畏的障碍。然而，一旦获胜，其报酬不仅仅是丰厚的利润，还伴随着全球性的威望和影响。这是孤注一掷的大赌博，在飞机制造商决定研制一款全新的客机时，实际上是在用整个公司做赌注，任何意想不到的因素都有可能导致项目的失败与公司的垮台。

原中航商飞公司明白，作为商用飞机制造商要么勇于冒险，填补市场上出现的空缺（即使这个市场目前是那么的不明确，甚至，仅仅是一种表面现象而非现实需求），要么就给其他的制造商让路。要想发展，原中航商飞

公司就必须研究和开发更新和更好的飞机，并且用心为自己的客户提供服务。

ARJ21-700飞机不仅要在工程学上创造奇迹，而且要能够准确地满足大多数乘客的旅行方式，大多数航空公司的运营方式，经过对市场谨慎的审视之后，原中航商飞公司对ARJ21-700飞机的市场定位有了一些想法：

ARJ21-700飞机应该是70～90座；

它的基本航程能够达到1200海里，加大航程能够达到1600海里；

它要满足国内经济发达的中小城市与大城市间，西部地区与其他城市间“瘦长航线”的飞行；

它要满足沿海城市跨海间航线发展的需求；

它要满足国内不断增长的公务机的需求。

同时，原中航商飞公司将ARJ21-700飞机在同类飞机中的竞争优势确定为：

西部适应性：它能够在高原实现不减载飞行，而不像所有进口支线客机那样，夏日在高原飞行就必须减载；

舒适性：它有着特别宽的机身，客舱宽度为3.143米，比CRJ-700、ERJ-170等支线客机要宽0.4米；

经济性：它的直接使用成本要比CRJ-200飞机低8%～10%。

“ARJ21-700飞机采用‘3＋2’布局，因为，即使乘客只坐了两边而把中间一排全部都空着，那么飞机的上座率也会在60%以上，可以在满足航空公司盈利的前提下，使乘客获得更大的舒适性。”原ARJ21-700飞机总设计师吴兴世解释说：“即使你是刚从波音737飞机和空客A320飞机上下来，再来乘坐ARJ21-700飞机，在飞机的舒适性上也不会感觉到太大的差异，这就是航空公司最需要的飞机。”

至于ARJ21-700飞机为什么要选择尾吊式布局？

“我们需要把风险降到最低，我们需要一步成功。”吴兴世解释

说：“ARJ21-700飞机比较小，机翼装在下面比较合适，如果发动机再装到机翼下面，那么离地面就太近了，地面上的沙子很容易吸进发动机。另外，在地面有水的情况下，前起落架溅出来的水也会被发动机吸进去，而这些情况往往要到飞机真的飞起来之后才能发现，波音737飞机为了解决这些问题就把发动机给压扁了，而我们的做法是采用尾吊式布局来解决问题。”

虽然支线客机拥有庞大的市场发展潜力，但是，面临的研制风险也相对较大，ARJ21-700飞机的市场定位并没得到业界的一致认可。

一位不愿透露姓名的航空专家表示：目前，国际航空市场上的支线客机市场不容乐观。此前，全球曾有庞巴迪公司（加拿大）、巴西航空公司、英国宇航公司、德国多尼尔公司、AJR（法国）、SAAB（瑞典飞机有限公司）、FOKKER（荷兰福克公司）等几大支线航空公司，如今，FOKKER公司已经倒闭了，SAAB公司不再生产支线客机，英宇航也计划中断项目。

“9·11”事件之后，受全球航空业大萧条的影响，全世界中小飞机制造商被推上了豪赌支线航空市场的列车。当时，庞巴迪公司、巴西航空工业公司抢走了90%的国际支线客机市场份额，并正在全力拼抢中国支线客机市场。在中国研制ARJ21-700飞机的同时，巴西航空工业公司、加拿大庞巴迪公司等国际支线客机制造巨头，也在加大对70座级支线客机技术的提升，以期在技术上占据更大优势。虽然，巴西航空工业公司一再表示：“50座的ERJ-145飞机更加适合起步阶段的中国市场，目前，公司还不打算将ERJ-170飞机拿到中国市场来销售”，但是，巴西航空公司也同时强调，“ERJ-170飞机是否会进入中国市场，与ARJ21-700飞机展开面对面的竞争，最终还取决于客户的选择”。因此，ARJ21-700飞机要想在激烈的市场竞争中分一杯羹并非易事。

2001年4月１日，中国政府提高了飞机关税，大飞机的进口关税为１％，增值税为６％；而支线客机进口税为５％，增值税为１７％。行业观察人士称，中国希望借关税的作用来提升自己的飞机制造行业。然而，进入重组的航空公司已经日益商业化，虽然，中国民航总局可以要求航空公司购买中国造的飞机，但是，这已经不再是非执行不可的命令了。

与此同时，为了挤入中国的支线客机市场，巴西航空工业公司和庞巴迪公司正试图采用各种手段，规避进口支线飞机征收的高额关税。巴西航空工业公司与哈尔滨飞机工业公司合资，在国内组装50座级的ERJ-145支线客机。庞巴迪也在寻找中国的合作伙伴，合作生产110～130座级的C系列支线客机。

专门为适应中国航线而设计的ARJ21-700飞机，是否能够受到中国航空公司的青睐，使他们真正接受国产的商用飞机，成为ARJ21-700飞机获得成功的关键一步。

ARJ21-700飞机能做到吗？

当时，时任原中航商飞公司总经理的汤小平已经是位60岁的老人，经历过中国商用飞机发展过程中的所有阵痛，他一直工作在对外合作项目谈判的最前沿。“中国始终没有一个能够真正进入市场竞争的飞机项目，而最令我痛苦的是来自于国内航空公司，乃至国际市场对中国飞机制造商能力的不信任。”一直以来，上至国家下至航空公司，种种质疑的目光灼伤了所有航空人的心，就是在这样的心情下，汤小平领命出征。

2000年3月12日，时任副总理吴邦国针对ARJ21项目说：“这是最后一次机会，不要再错过！”这句话反映了来自于国家层面的质疑，这种意味深长的“关怀”令航空人内心充满酸楚。一时间，对航空工业“屡战屡败，屡败屡战”的评价频频出现在国内媒体上，事实上，这种评价恰恰源自航空工业内部。

也有一些学者强调：“航空工业界进行了近40年渐行深远的探索，其中的价值与意义应该及时加以总结，尽快达成更广泛的航空共识，媒体更应该对国家战略性产业起到舆论支撑的作用。”业界分析人士也普遍认为，此次，如果与商用飞机工业发展休戚相关的中国航空运输业，依然不愿意与中国民机工业“比翼双飞”，那么，ARJ21-700飞机想要获得商业成功将变得异常艰难，中国民机工业也将很难再找到新的突围之路，更无力阻挡国外飞机垄断中国天空的步伐。

对于原中航商飞公司来说，确定一架飞机的方案并不难，但是，说服国内航空公司真心愿意购买并且使用ARJ21-700飞机成为他们面临的最大困难，一直以来，这个问题都是发展中国民用航空工业最迫切需要解决的问题。业界专家也提醒，支线航空的开发和成熟要有一个过程，为了防止出现支线客机过剩的局面，航空公司要根据各自的地理位置及具体情况，来考虑市场开拓的对策。

“对市场的特殊理解，对客户的特殊关注”，汤小平提出的未来发展战略令原中航商飞公司思想解放、观念嬗变，也更坚定了他们的选择“研制什么样的飞机必须听市场的”。汤小平由衷地意识到，在纸上画出一架符合空气动力学原理的飞机并不难，难的是，能够从客户的角度、从市场需求的角度设计出一架符合空气动力学的飞机，只有满足这些要求的飞机才能真正飞起来。

“这么多年来，我们没有关心航空公司真正需要的是什么，我们并不懂得他们真正的运营状况。”汤小平说，这次我们不想再单纯依靠国家政策的保护，我们要去航空公司访问，去听人家对我们的评价，听听他们对正在使用的国内飞机与国外飞机的评价。

2001年3月，原中航商飞公司带着ARJ21-700飞机简单的介绍资料，对依靠国产运-7飞机起家的四川航空公司进行了首次走访，他们诚心诚意地向客户求教“什么样的飞机会为你们带来利润”，他们努力地向四川航空公司表示“ARJ21-700飞机的确是具有市场价值的好飞机”！

听完原中航商飞公司的介绍后，四川航空公司提出的第一个问题就是“你们有客户支援体系吗？”2007年12月21日，位于上海闵行区紫竹科技园的原中航商飞公司客户支援中心正式落成，建筑面积超过2万平方米，包括客户培训中心和备件支援中心，这里最多能为50架ARJ21-700飞机提供客服支援。然而，回到四川航空公司提出这个问题的时候，汤小平甚至不知道应该如何回答。

接下来，四川航空公司又提出了一个令汤小平当时无法回答的问题，“你的飞机价格里是否包括飞行员培训？是否包括飞机的备件？是否包括……”

几家航空公司走下来，他们几乎提出了同样的问题，原中航商飞公司意识到产品支持才是航空公司选购飞机时考虑最多的因素。

在与国内的航空公司频繁地接触之后，航空公司逐渐被原中航商飞公司的真诚所打动，他们纷纷表示愿意支持ARJ21项目的研制，愿意向原中航商飞公司提供所需的资料。随后，航空公司的各类专家也对ARJ21-700飞机的设计提出了很多具体的建议，原中航商飞公司综合了这些具体的客户建议，准备对ARJ21-700飞机进行详细的设计。

“先不要考虑货运型，货运很难盈利，一般采用客货混装，我们希望货舱大一些。”

“设计时不要加装缝翼，否则会增加我们的维护成本。”

“发动机加反推力效率增加了1%～3%，其实这个意义不大，反而还增加了我们的购置成本和维护成本。”

“建议起落架选型时多考虑几家，空客飞机最初只选了一家，供应商在维护时表现很不好。”

“国内设计人员应有创新精神，对飞机深入了解一些，设计细致一些，不

仅要考虑客舱的舒适感，也要考虑驾驶舱的舒适性。”

“在设计上留有用户选择空间；必须配置模拟机，以便更好地培训空勤人员；在适航考虑上应有超前性；国家政策对国产支线客机至关重要，目前，除国产的新舟60飞机享受了10元的机场建设费外，其余都是外国支线客机在享受这项优惠政策。”

飞机维护主管的意见为ARJ21-700飞机的“飞机可维护性设计”提供了更加具体的指导：

“机载设备希望有多种选装件，机体要考虑通用性，中央构型控制系统、资料存储系统应能时时进行人机交流。”

“在飞机可维护性的设计上，应充分考虑是否好拆装，清洗是否方便，有些东西不是用坏的而是拆坏的，例如，图-154飞机的发动机包皮拆装设计得就非常麻烦，除非有明显的症状，最好能不拆就可检查和维护。”

“配件最好具有通用性并且容易采购，例如，清洗剂可标明成分，航空公司可购置同样成分的替代品使用。”

“应该向波音777飞机学习，在设计时就模拟维护，以求达到维护最简便；人—机接口要好，最好有自动状态检测系统；维护资料如部件、故障、排故、结构和放飞等手册应齐全，有什么故障症候，查手册即可排故，资料应便携，排故手册中介绍的方法随时补充、更新。”

ERJ-145飞机的机长给了原中航商飞公司一点打击：“ARJ21-700飞机的概念不错，但是你们有点晚了，我感觉ERJ-145飞机挺好飞的，它具有自动驾驶系统、制动控制系统，比较容易驾驶，两个人操作还挺轻松。”

飞行员提出的所有建议直接与飞机安全相关，他们在飞机的操纵性与驾驶舱的舒适性设计方面给出很多建议：

“我们最关心飞机出现故障时，航电系统能不能及时体现并提出告警，所有的故障是否容易排除，ERJ-145飞机分别设有几个等级的告警，缺点就是都是英文的而没有中文。”

“另外强调一下，应加装自动油门，发动机反推问题可以论证一下，虽然其增加了维护费用，但在下雨时其对减速有很大贡献，甚至不用踩刹车，它可以增加飞机起降时的安全并减轻飞行员的劳动强度。”

“ERJ-145飞机的驾驶杆有点靠前，胳膊不是很舒服，而A320飞机的驾驶舱设计得非常完美，ERJ-145飞机的10米/秒爬升率、5%爬升梯度都令人

非常满意。”

同时，原中航商飞公司也听到了航空公司对一些飞机的抱怨：

“总是要在后货舱加配重，在地板上加了300公斤钢板。”

“发动机的可维护性比较差；厨房使重量增加了200多公斤。”

“ERJ-145飞机的行李舱太小，希望ARJ21-700飞机的行李舱稍微大一些。”

“我希望剩余推力大一些，起飞滑跑距离与B737一样，但其过站停留时间仅10分钟……”

这些抱怨，让原中航商飞公司真正理解了所谓“商业成功”不仅体现在原中航商飞公司把飞机卖出去，同时也体现在航空公司在飞机使用中盈利。

市场部经理说，你们把ARJ21-700飞机搞好了，就像汽车制造商把10万元以下家用轿车搞好了，市场前景一定很光明。

培训科长则认为培训是至关重要的，原中航商飞公司现在就应该从几个方面着手准备：要与国际接轨，在研制时就应根据飞机设置安排培训，如第一机长、第二机长的培训，机上电子系统的培训，乘务员的训练等要有完整的培训大纲；要有先进的培训手段，书面资料、光盘都要有，相对来说，光盘比印刷品更好；一定要投入模拟机，要有自己的教员队伍，包括理论教员和模拟机教员……

总经济师告诉原中航商飞公司，航空公司选购新机时主要基于三个方面的考虑：性能、构型和机内布置；价格；技术支持，如航材、备件和培训。

“例如，我们买ERJ-145飞机，巴西航空公司要免费培训我们5个机组，ERJ-145飞机的销售用的是巴西的出口信贷；空客公司把出口信贷改为商业信贷，其利率甚至比出口信贷还低；购买ERJ-145飞机时，巴西航空公司提供了超过10%的航材清单，我们同意接受的较少，备件上涨幅度根据物价浮动，一般不超过3%～5%……”

2001年2月22日，原中航商飞公司走访了上海航空公司，与上海航空公司的有关人员就ARJ21-700飞机的市场商务情况进行了讨论并交换了意见，同时，上海航空公司也介绍了CRJ-200飞机的市场商务情况。

上海航空公司的专家介绍说，“从市场方面看，中国支线客机的市场主要还是在东南沿海，这里的经济比较发达，经贸往来等对航空运输的需求很

大，西部地区是一个潜在的市场。我们有个预测：上海浦东国际机场二期第二条飞行跑道建成后，放50～60架支线客机在那里飞行肯定没有问题，东南沿海大城市周边还是有市场的。航空公司需要70座级、90座级和50～60座的飞机，所以，ARJ21-700飞机基本型选70座级是正确的，向上和向下都能发展，符合我们的要求。”

“ARJ21-700飞机采用了‘3＋2’的客舱布局，客舱宽度和过道高度比较大，舒适性好。另外，从客机改货机的角度考虑5排座是非常好的。飞机的飞行操纵系统是非常重要的，要考虑通用性，在航空公司飞行员是宝贵的财富。”

“CRJ-200飞机是从公务机改过来的，飞行维护、飞行操纵很麻烦，飞行员很疲劳，另外，不能和波音系列飞机通用。”

“发动机建议选用成熟的美国通用电气（GE）公司CF34系列产品。”

“产品支援售后服务是一项非常重要的内容，是航空公司采购飞机的重要因素，也有非常大的利润空间，国内运-7飞机，发动机虽然采用了普惠公司的发动机，但是，售后服务与国外供应商相比还存在很大差距。”

“ARJ21系列飞机的备件库建设很重要，有两个地方很合适，北京或者上海，建在国际化的大机场附近，能够确保紧急订购。”

“采用现代企业制度和新的理念成立新支线客机项目公司是正确的，外部参与合作有了基础和途径……”

航空公司专家的意见和建议对ARJ21-700飞机的设计、制造和产品支援建设起到了指导性的作用。

最后，1000名中国设计师们与19家国外系统供应商，将所有的知识综合到一起令航空公司广泛的需求最终得以实现。在无数次探讨与思考之后，原中航商飞公司决定凭借ARJ21-700飞机的座级数、舒适度以及西部适应性这些特点，来赢得市场竞争的青睐。

媒体这样描述ARJ21-700飞机：

> ARJ21-700飞机以保证安全性为前提，强调可靠性和维修性，追求经济性，兼顾舒适性，它采用国内外成熟的先进技术，充分利用现有技术基础，降低研制风险和研制成本。
>
> ARJ21-700飞机以未来西部交通枢纽，格尔木机场、九寨黄龙机场作

为设计的临界条件，既满足开发西部地区的航空运输需要，也充分适应东部地区中小城市经济发展对航空运输的要求。我国西部地区机场条件相对简陋，航线障碍物多，这既要求飞机有过硬的起飞和爬升性能，在不减载的情况下能在较短的距离内起落，又要保证飞机能在较为恶劣的气候环境中运营，并对单发升限等飞机性能提出了更高的要求。ARJ21-700飞机可以很好地适应中国复杂的地理环境，是世界上第一架完全按照中国自己的自然环境来建立设计标准的飞机，在西部航线和西部机场适应性上具有很强的优势。

ARJ21-700飞机客舱宽度达3.14米，在同类支线客机中是最宽敞的，达到了与干线飞机同等的客舱舒适性，而且，增大了下货舱的高度和容积。基本型和加长型分别拥有17.7立方米和20.9立方米的下货舱，货舱高度接近1米，能为旅客提供更多的行李空间。对于客舱的内装饰和服务设备，综合考虑了线条、颜色、图案、照明和实用等因素，以保证乘客获得最大限度的舒适感。

ARJ21-700飞机低于同类竞争飞机的直接使用成本和全寿命成本，从开始设计就对飞机的全寿命成本进行严格控制，通过采用长寿命结构设计，注重高可靠性、维修性设计，使飞机的可靠性和安全性得以提高，从而降低维护成本。采用的低油耗先进涡扇发动机，提高了飞机的使用经济性。运用以IT技术为代表的先进研发手段以及与国际接轨的生产管理和质保体系，在很大程度上也降低了研制和生产成本。

ARJ21-700飞机与150座级干线飞机具有相近的飞行性能和相媲美的舒适性，同时，在驾驶舱人机界面、维护人机界面和相应操作程序方面，尽量保持共通性，从而可降低航空公司飞行员换装培训成本，提高飞机调配使用的灵活性。

当时，即使ARJ21-700飞机取得了171架的销售订单，一些业内人士依然认为，国内客户未必真正信任中国飞机制造商的能力与国产飞机的品质，订购ARJ21-700飞机更多体现的是对航空工业鼓励与支持的态度。对此，国内民航企业也并不回避自己的态度，虽然他们对国产飞机充满期待，但是对国外飞机却是一种依靠。同时，他们也普遍承认，航空工业界的商用飞机研发理念，已经发生了根本性的变化，原中航商飞公司已经迈出了进入市场的关键一步，只要理念能够得到秉持，成功便指日可待。那些正在经历着行业重组改革的国有大型航空集团，更能体会脱胎于国有大型军工企业的原中航商飞公司为了实现观念转变所付出的努力，或许，这才是他们真正看中的价值所在。

在获得市场认可的过程中，无论是原中航商飞公司的销售人员，还是集团

的高层领导，都在努力地与客户达成更多的共识，即使在经历过航空公司的冷遇之后，他们依然没有放弃。

商用飞机的制造难度众所周知，仅凭诱人的市场前景和宏伟的抱负还不足以确保一款新飞机能成功投放市场，更不要说，这还是一个缺少经验的商用飞机制造商。

对于航空公司来说，购置新飞机，无论是从智力上还是从财力上来考虑，都是一个非常棘手的问题，这个决定将直接关系到公司未来的命运。很多时候，这也是现任的航空公司领导在为继任者选择飞机，这一点尤为重要，因为，航空公司必须购置能够使用20年，甚至更久的飞机。任何一家航空公司都无法预料未来几年航空市场的业务是否景气？公司要飞哪些新航线？客运量如何变化？还将面临哪些竞争？从做出购置新飞机的决定开始，航空公司就不得不为这架几年内都不能飞起来的飞机开始投入大量的资金，而距离能够使用它并开始运营的时间还是那样的遥远。在漫长的等待期里，航空公司会产生很多疑问：未来的市场真的需要这架飞机吗？制造商能够按时把飞机交付给我吗？他们能够保证这架飞机的性能像他们描述的那样好吗？他们能够保证产品的售后服务吗……

总而言之，“选准未来市场所真正需要的飞机”这个问题无论是对飞机制造商，还是对航空公司而言，都是一个产生深远影响的问题。因为，大家都在预测明天世界将要发生的事情，谁都无从把握现在所做的一切是否正确和有效！

我们只能期待，当ARJ21-700飞机掠过人们头顶的时候，或许航空公司会说，“太好了，我没有错过这架好飞机！”

销售第一架飞机需要一种信任

销售第一架飞机需要一种信任。

“与启动用户的签约是ARJ21项目进展的重要里程碑，证明市场接受了ARJ21-700飞机，项目得以进入实质发展阶段。”原中航工业第一集团公司常务副总经理、原中航商飞公司董事长杨育中在与启动用户签署35架购机协议后说，“ARJ21-700飞机从设计到生产都将紧扣着市场的需求，这是我们必须接受的挑战。”

“市场、客户永远是ARJ21-700飞机发展的驱动力，以客户为中心是原中航商飞公司的基本理念，原中航商飞公司的价值只能体现为客户心中的价值。”原中航商飞公司总经理汤小平说，“ARJ21项目的难点并不是技术上的，而是对市场、对客户的理解以及与客户的密切关系。要真正做到以实

现客户利益为首要目的，而不再仅以满足自身技术发展为目的，这对整个航空工业界来说无异于再造魂魄。”

“纸上卖飞机”，在制造飞机之前就把飞机销售出去这是世界惯例，没有什么了不起。但是，原中航商飞公司能够实现“纸上卖飞机”就很了不起，因为，这是原中航商飞公司第一次按照市场规律、按照国际惯例来销售飞机。

“即使是在长期缺乏客户信任的情况下，我们也没有靠政府强迫航空公司购买我们的飞机。”汤小平说，“ARJ21-700飞机单座成本在30万美元，直接使用成本比国外飞机要低8%～10%，这是我们的优势所在，我们相信市场会接受它。”

“购买ARJ21-700飞机最重要的是价格因素，国外支线客机的单座成本在30万～40万美元，对航空公司来说无疑是个巨大的包袱。”山东航空集团公司副总裁高柱说，“但是，价格因素不是唯一因素，如果国产支线客机不能在技术、性能、服务等方面达到国际同等水平，尽管价格很低也不会赢得市场的青睐，即使航空公司现在下了订单，飞机交付的时候一样可以不要！”

回到2001年，尽管原中航商飞公司已经确定了ARJ21-700飞机的总体规划：宽大的机身，高高的平尾，两个挂在尾部的发动机，先进的超临界机翼，但是，原中航商飞公司还不能开始研制。按照国际惯例，原中航商飞公司必须找到ARJ21-700飞机的启动用户。也就是说，原中航商飞公司要在市场上找到与他们一样，对未来支线航空市场充满信心的客户；相信他们有能力把还停留在纸上的飞机制造出来的客户；愿意与他们一起为8年之后才能飞起来的飞机持续投入资金的客户；愿意与他们共同承担风险与挑战的客户。

这实在是个巨大的挑战！“纸上卖飞机”，原中航商飞公司毕竟不是波音、空客！

打开市场的唯一理由只能有一个，ARJ21-700飞机的确是架好飞机，未来的市场需要它。为此，原中航商飞公司的销售团队要付出艰辛的努力，他们必须要用钢铁般的意志去说服每一位客户，让客户他们放弃原有的“不信任”的目光，而愿意在漫长等待的岁月里与他们结成风险共担的亲密伙伴。

原中航商飞公司开始在国内疯狂地寻找能够让ARJ21-700飞机飞起来的启动用户。

“真诚是可以打动客户的，当我们详细地向航空公司介绍我们将怎样做到比以前更好的时候，一切都发生了改变。最终，我们拿到了订单，而且是在没有政府帮助的情况下拿到的。”汤小平说，“我们的销售部门用了很长的时间去了解客户在运营过程中所面临的经济环境与社会环境，甚至，这种了解已经超过了客户自身对自己的了解，我们将这些关键因素组合起来，正确判断出客户未来的真正需求。于是，我们告诉客户，原中航商飞公司已经为满足你们的需求做好了充分的准备，我们坚定地相信，ARJ21-700飞机将是真正能够满足未来市场需求的飞机。”

在北美和欧洲空运市场上，支线喷气机运营的巨大成功，被称作是一场“静悄悄的革命”。它不仅对航空公司的竞争战略及其顾客的消费理念形成了巨大的冲击力，而且对航空公司的航线网络重构和经济效益也产生了深远的影响。但是，这场“静悄悄的革命”能在中国上演吗？

无论春天的阳光多么温暖，毕竟都是遥远的未来，而目前却是春天来临前最寒冷的冬天。支线客机没有给航空公司带来现实的收益，在当时，国内所有使用支线客机的航空公司全都在亏损，航空公司在春寒料峭的寒风中颤抖地等待着“支线航空的春天”。

据公开信息显示，2002年，山东航空公司净亏4558万元，支线业务是其头号利润“杀手”。公司高层坦言，山航干线飞机的盈利全部贴在了支线航空上。海航集团旗下的长安航空公司大量支线也处于亏损局面。2003年，南航新疆公司实现盈利600余万元，但支线亏损却高达4000万～5000万元，国内其他航空公司的支线业务同样亏字当头。

原中航商飞公司坚定地相信那是个真实存在的市场，预言必定会实现，尤其是当ARJ21-700、CRJ-700、ERJ-170这种新型支线飞机出现后，已经完全改变了传统意义上支线航空的概念。“这些飞机可以满足了‘点对点’的飞行，同样的时间里，波音737飞机能够到达的地方，这些飞机一样可以到达，在区域航线上这种新型支线飞机将拥有无限潜力。”汤小平说，“我们不断地营销‘区域航空’的概念，直到客户开始相信这个市场的存在，认为，ARJ21-700飞机能够为航空公司实现盈利。”

2003年9月17日，在第十届北京国际航空展览会上，原中航商飞公司正式与山东航空股份有限公司、深圳金融租赁有限公司、上海航空股份有限公司签署启动用户协议，三家启动用户共购置35架ARJ21-700飞机。

在签字仪式进行的同时，原中航商飞公司的销售负责人却因心脏病突发而在医院进行抢救！正如《最高的战争》[4]的作者所说，“从事飞机制造和销售工作的人，必须拥有顽强的性格，因为，这一行业与众不同的最大特点就是随时承担难以置信的风险和压力。”

最早与原中航商飞公司签订启动用户协议的是上海航空股份有限公司，但是，他们明确对原中航商飞公司表示“不要对外宣布”。在很长的一段时间里，关于35架飞机订单的真实性，仍然流传着很多谣传，甚至连国防科工委在批准ARJ21项目立项时也提出审查购机合同的要求。所有这一切都体现着社会各个层面对航空工业的不信任。

不过，不管怎样，ARJ21项目真正开始启动了，而且是在与国际接轨的研制与生产体系中启动的！

我们需要快速起飞

一架完整的ARJ21-700飞机要由几万个零部件组合而成，在全球范围内生产和组装任何一种产品，其复杂程度都无法与商用飞机相提并论。

毫无疑问，即使ARJ21-700飞机选择了19家国际知名系统供应商，它依然是中国首架拥有自主知识产权的新型支线客机！原因在于，飞机的市场选择、整体设计、性能指标、机型结构、系列化发展以及未来的市场开拓等一系列关键性问题的制定，都要由原中航商飞公司来决策！原中航商飞公司作为主制造商，是ARJ21-700飞机TC（型号合格证）和PC（生产许可证）的真正持有者。

唯一不同的是，在ARJ21项目中，中国飞机制造商的身份却从长期的航空零部件供应商变成了系统主制造商，由配角变成主角。

在飞机制造业中，作为成品系统供应商会以各种各样的方式参与飞机主制造商的项目研发和制造中。ARJ21项目的19家成品系统供应商则是以“风险合作伙伴”的身份，按照“风险共担、利益共享、确保项目成功”的原则参与项目。商业模式的创新，标志着中国商用飞机研发理念正在发生着深刻的变化。

中国现在正在做着以前从来没有做过的事情，而竞争对手正在快速地前进。ARJ21-700要想在市场上获得竞争力，就必须以最快的速度把所有的事情组合在一起。然而，如何让整个项目进展得足够快，这正是中国面临的最大挑战。

2002年是世界形势风云变幻的一年，受“9·11”事件和全球经济形势持续低迷的影响，世界航空业继续滑坡，美国航空公司甚至刮起了“破产风暴”，此时，中国成为世界航空运输业的新希望。当“风险共担和利益共享”的国际合作模式被ARJ21项目全面采用后，全球几乎所有的航空工业集团和成品系统供应商都将目光投向了原中航商飞公司。

在全新的项目运行模式推动下，在全新的项目管理风险的挑战下，中国航空制造业开始了更加深远的探索。“自主研制”与“国际合作”也在市场的竞争中超越了原有概念的束缚，不再是器局狭隘的唯我独尊，也不再是亦步亦趋的教条模仿，拓展了新的内涵与价值理念的新模式，正在征途中焕发出新的青春血气。

然而，任何一个行之有效的理念的形成都不可能是一蹴而就的，打破一个固有的模式而重开一个新的风气，这不仅需要观念上的艰难突围，更需要将瞬间的灵感凝固成为可执行的路径与方法。如何在全球市场的风云变幻中始终明确自己的定位与责任，实现这一切，原中航商飞公司没有任何经验可资借鉴，还有太多、太多未知的风险等待着这支年轻的队伍去承担。

在这个急剧变革的时代，一时的强大或者渺小、一致或者争论、成功或者失败都不足以构成评价中国民用航空工业——这个从来就不曾缺少创新意识的行业的标准，它需要所有参与其中的人们在心智和专业的求索上更冷静、更沉潜、更持久。正如原中航商飞公司总经理郑强所说：“我们必须在残酷的竞争和角逐中成长，在艰难的成长中取得竞争和角逐的优势。”

“我们将就几乎所有的问题和原中航商飞公司保持沟通，并不排除各种合作的可能。”几乎所有国际知名系统供应商都在原中航商飞公司宣布启动ARJ21项目之后，表达了同样的合作意愿。

2002年在新加坡航展上，国际供应商纷纷向原中航商飞公司询问“ARJ21-700的飞机已经启动了，你们的采购原则是什么？”

早在ARJ21项目启动阶段，原中航商飞公司母公司就确定了“开展国际合作，面向全球，择优采购符合设计和适航要求的动力装置、航电设备等系统”的总体规划。原中航商飞公司副总经理陶志辉说：“选择国际合作的目的，就是要将各方的利益与风险紧紧拴在一起，确保ARJ21项目的成功！我们必须抓住中国民用航空工业发展的‘最后一次机会’！”

但是，在当时，每个参加ARJ21项目商务谈判的供应商团队里，负责洽谈技术合作的人数远远超过了负责产品支援与客户服务的人数。针对这种情况，原中航商飞公司明确地表示：不！我们不谈技术合作，我们的原则非常明确，作为ARJ21-700飞机的主制造商，我们需要的是“风险合作伙伴”，我们需要享受与其他飞机制造商同等的商业地位。

AE-100项目的教训，使我们意识到“技术诱惑”几乎断送了我们寻找通往“自由王国”道路的所有机会。对追求高技术领先的航空产业而言，只有核心技术的控制权能够决定一个企业在这个产业链中的地位，只有具备了自主知识产权和品牌产品市场开发主动权的飞机制造商，才能成为世界商

用飞机领域的实力派。

新技术的集成与综合能力带给飞机制造商的挑战远远大于单项技术创新，波音公司总裁费尔·康迪特(Phil Condit) 曾将波音的“核心竞争力”定义为“成功地成为一个大规模的系统集成商”。

ARJ21-700飞机的系统由动力装置、航电、电源等24个系统组成，这些系统的研制是由原中航商飞公司提出系统设计要求和技术指标后，再与国外供应商进行联合定义，然后再由国外供应商进行研发，原中航商飞公司对整个过程进行监控、评审、审批和适航审定，最后由原中航商飞公司完成飞机的系统集成和综合，对于原中航商飞公司来说这是全新的课题。当波音公司、空客公司都在用最新的“供应链管理”理念，在全世界范围内组织飞机生产的时候，原中航商飞公司还在ARJ21-700飞机究竟应该采购成品，还是系统的问题上争论得一筹莫展。

2002年，仍然没有从“9·11”事件与经济低迷中走出困境的航空业，越来越将“规避风险”的思想更加深远地融入各自的企业文化当中，世界飞机制造商也从以“技术为主导”的企业文化转变为以“工程进度和财政预算”为主导的企业文化。他们开始寻找遍布世界的系统供应商，并将飞机的系统设计和生产分派到他们手中，因为，这是能够利用优质廉价劳动力，达到降低建造成本的有效方式。当然，最重要的原因还在于，这种方式能够在很大程度上将飞机制造商所承受的一定的财政风险分担出去。

国外研发相同类型的支线客机至少需要8亿美元，ARJ21项目至少需要6.5亿美元的研发费用，大部分资金将由15家股东单位自筹。“我们需要系统供应商来分担我们的研发费用，直到我们开始向客户交付飞机。”原中航商飞公司董事长杨育中进一步解释了“风险合作伙伴”在ARJ21项目中所要承担的任务：系统供应商向原中航商飞公司提供的成套系统必须是低成本的产品；必须自行承担系统研制和综合的研发费用；必须向原中航商飞公司免费提供试飞和取证飞机上所需装机的完整系统；必须在中国和全球范围内拥有良好的产品支援和客户服务体系……

2003年，美国《航空周刊》对ARJ21项目发表评论时指出：意义不在于其商业潜力，而在于中国正在开始学习，学习如何开发完全符合西方标准并拥有自主知识产权的商用飞机；如何通过与众多的供应商合作从美国联邦航空局获得认证；如何建立起全球营销网络；更重要的是，证明其有能力提供各种售后服务。如果40年后中国在全球航空业发展成为一个竞争力强的对手，那么我们应该说，他们是从ARJ21-700飞机开始的。

2002年11月4日，原中航商飞公司与美国通用电气飞机发动机公司在珠海签订合作意向书，选择CF34-10A发动机作为ARJ21-700飞机的动力装置。

“原中航商飞公司选定GE发动机公司的CF34-10A高涵道比涡扇发动机作为ARJ21-700飞机的动力装置，而不是完全自主研发，仅这一项就可以将项目的总体费用降低至少50亿元。GE公司在研制CE34系列发动机上的投入已经高达10亿美元，CF34-10A发动机，已经被巴西航空工业公司的Embraer-190／195飞机选用，当ARJ21-700飞机投入使用时，该发动机技术已经非常成熟。”GE发动机集团中国区销售总经理向伟明认为，“作为ARJ21-700飞机风险共担的战略供应商，GE公司理应在动力装置及其相关技术上分担项目研发的投入和风险。”同时，GE小型民用发动机项目总经理戴维·乔伊斯（David Joyce）也表示：“GE公司在中国开展业务已有近百年的历史，我们对中国还从未做出过如此重要的承诺：双方联手为全球市场开发品质卓越的产品，我们承诺确保ARJ21项目的长期成功和中国航空工业的持续发展。”

事实证明，当中国不再痴情于“技术合作”的诱惑，而是一步跨进追求商业成功的思维时，中国与世界市场的关系发生了翻天覆地的变化。商业模式的创新，成为ARJ21-700飞机获得成功最重要的前提。

除了分担项目研发的资金风险之外，原中航工业集团民机部部长汪亚卫指出，大量选择美欧知名厂商成为主要系统供应商，最主要的目的就是拿到国际适航证，将中国的商用飞机卖到国际市场，ARJ21-700飞机取得国际权威适航证的意义已经超越了项目本身的意义。这意味着，中国商用飞机的产品质量已经达到了国际航空运输安全要求的水平，国内外的飞机乘客可以放心地乘坐，同时，也将证明CAAC（中国民用航空局）的适航审查标准和体系已经达到了国际先进水平。

当ARJ21-700飞机身上体现了更多美欧航空产品的成功与价值时，FAA与EASA（欧洲航空安全局）开始非常关注ARJ21的研制情况。作为回报，GE公司帮助原中航商飞公司与美国FAA建立了联系。

2003年9月25日，FAA派出观察员出席了在上海举行的ARJ21-700型号合格审定委员会的首次会议。2004年5月，原中航商飞公司与已经选定的全球12家系统供应商签订了正式合同，12家系统供应商中有6家是美国的系统供应商，其中包括：通用电气飞机发动机公司负责提供动力系统，派克哈尼芬公司提供燃油和液压系统，罗克韦尔·柯林斯公司提供航空电子系统，霍尼维尔宇航公司提供飞行控制系统和汉胜公司。

2006年5月，FAA在上海设立办事处，美国记者在记者招待会上提问：“ARJ21-700飞机是卖到中国市场的飞机，为什么FAA要到中国来为它颁证？”FAA的主管回答说：“原因在于，ARJ21飞机上有美国人的利益。你知道吗，19家系统供应商里有三分之二是美国的供应商，他们的利益体现在占机体价格40%的机载系统里面。”随着ARJ21-700飞机占领的市场

份额的扩大，美国人会获得更多的利益回报，因此，主管中国民航适航审定工作的CAAC与美国FAA就ARJ21项目共同探索扩展适航双边关系的工作，具有极强的现实性与紧迫性。

2007年3月8日，美国FAA在上海正式设立了技术办公室，并开始对ARJ21-700飞机的研制单位进行考察。3月28日，中国CAAC成立了“中国民用航空上海航空器适航审定中心”，加强与美国FAA在ARJ21-700飞机适航审查上的合作。

我们需要风险共担的合作伙伴

确定发动机是启动ARJ21项目的真正标志。

占领中国支线客机市场的竞争正在激烈地进行中，政府也被卷入其中，起到至关重要的作用，甚至国家元首都要亲自出面。中国商用飞机的发展始终伴随着政治领域的博弈，国际关系成为系统供应商选择的最大干扰。

ARJ21-700飞机发动机、机载设备的选择，连法国总统都被惊动了！

2002年《北京青年报》报道：目前，英国的罗尔斯·罗伊斯、美国的普惠公司、法国的斯奈克玛公司都在积极争取参与中国支线客机的制造工作，这意味着一场围绕中国支线客机的市场争夺战正在拉开帷幕。

一架飞机的价格中约四分之一是用于装机的发动机及其备件，而且对产品支援服务的工作量也远比其他部件要大。长期以来，发动机成为航空公司与制造商之间关系紧张的主要原因之一。

原中航商飞公司明确表示，不是采购纯粹的发动机，而是整套的动力系统，供应商必须依据ARJ21-700飞机的性能指标，对发动机进行适应性的改造。为此，在正式确定动力系统供应商之前，原中航商飞公司与美国GE公司、英国罗尔斯·罗伊斯公司、美国普惠公司以及法国斯奈克玛公司进行了很长一段时间的“发动机—机体一体优化匹配”的研究。

法国推荐的发动机是现在应用在俄罗斯苏霍伊公司“超级喷气100”上的发动机，在当时，这还是个全新的发动机。在商务条件上，法国提出可以给予原中航商飞公司经费上的支持。但是，原中航商飞公司认为不能冒险选用一台全新的发动机，“我们需要的是成熟的、具有发展潜力的产品”。原因在于，飞机只有投入飞行之后，才能知道发动机的真正性能，所以，原中航商飞公司必须选择成熟的产品。

GE公司推荐的CF34系列发动机就是一款成熟产品，使用寿命达到15000

千小时，而罗尔斯·罗伊斯公司提供的发动机只有6000千小时。CF34系列发动机已经获得近5000份的订单，并且正在为庞巴迪公司、仙童·多尼尔公司和巴西航空工业公司生产的支线客机提供动力。更令原中航商飞公司感兴趣的是，CF34发动机能够直接改变飞机的推力，包括最大起飞推力、最大巡航速度，也就是说，不用对发动机的硬件进行任何更改，只要把软件功能调整一下，发动机就可以在各种状态下高效工作。

2001年5月8日，原中航商飞公司邀请了航空公司的专家共同参与评标，从客户认可程度、工程技术、客户支援和商务条件四个方面对供应商进行评议：工程技术方面排除了法国的斯奈克玛公司；商务条件方面排除了英国的罗尔斯·罗伊斯公司，其一台发动机的报价就超过了其他公司一套发动机的报价；客户服务方面排除了美国普惠公司，航空公司最终一致选择了GE公司的CF34-10A发动机。

航空公司对原中航商飞公司的表现也非常满意，原中航商飞公司不再简单地追求辉煌的技术成功，而是把充分使用成熟的技术、达到满足市场客户需求，作为供应商选择的重要因素，这种意识的转变，不能不说是航空工业在发展民机产业理念上的重大跨越。

作为风险共担的合作伙伴，GE公司的条件是作为唯一货源，并在珠海航展上宣布；原中航商飞公司的条件是与庞巴迪公司、巴西航空工业公司享受同等的价格待遇，能否获得这个待遇，是飞机制造商地位的体现。双方最终达成了协议，原中航商飞公司还获得了GE公司一亿美元的项目支持经费。但是，这本应该属于商业机密的内容却被原中航商飞公司透露了出来，这笔原打算投资在客户服务体系上的资金，最终被启动用户用于解决困难。

最大的贸易，最大的政治！那些政治决定，对于商用航空工业界有着深刻的影响。

2002年11月4日，原中航商飞公司在珠海航展上宣布与GE公司签订了合作意向书，欧洲国家的供应商在获知消息后纷纷到原中国航空工业第一集团公司、国防科学工业委员会进行强烈抗议。当时，驻欧洲国家的大使也发电报给外交部，要求从两国关系上慎重考虑ARJ21-700飞机动力系统供应商的选择。

原中航商飞公司承受着来自国内有关政府部门的问责。

“比我们想象得严重多了！到上级部门汇报，总是先给我们讲当前的世界格局、国际关系，甚至，有些国家还以解除某一类对华贸易限制为条件，让我们改变发动机系统的招标结果。”对此，汤小平回答说：“我们

ARJ21-700飞机太小了，它只有90座级，它无法肩负起平衡国家外交战略这么重大的使命。既然国家让ARJ21项目实现商业成功，就不能让原中航商飞公司采购高成本的产品，如果政府可以给原中航商飞公司补贴的话，我们可以采购政府指定的产品。”

虽然，原中航商飞公司承担了很大的压力，但他们仍然决定宣布航电系统、飞控系统的招标结果，结果，原中航商飞公司又到有关部门听了两次国际关系、外交关系讲座……

阻力并没有动摇原中航商飞公司的决心，中国必须通过ARJ21项目来树立中国航空工业在世界市场的权威和信心。如果我们丧失了这种信誉，即使世界供应商在巨大的中国市场的吸引下依然会参与中国的飞机项目，中国也必然要为此付出巨大的代价。

原中航商飞公司希望能够更多依靠市场解决问题，供应商反而更加在意中国政府的态度。GE公司一位首席市场官就非常明确地表达自己的担心，“是不是有哪个部门不是支持你们的项目？”这种担心始终存在，即使在2007年ARJ21-700飞机成功下线之后，供应商依然向媒体透露了他们的担忧：“我们并不担心中国支线客机的市场前景，也不担心中国工程师的研发能力，但是，我们担心地缘政治对项目的影响。”

ARJ21项目是当时全球唯一启动的新飞机项目

为什么国外供应商愿意以“风险合作伙伴”的身份参与ARJ21项目呢？当时原中航商飞公司并不知道自己选中了一个绝佳的时机宣布启动ARJ21项目。

当全球供应商集中过来时，原中航商飞公司才发现，ARJ21-700飞机是当时全球唯一启动的新飞机项目，此前，全球的航空工程设计队伍都在等待着新飞机项目的出现。另一个原因在于，供应商真正看中的是中国未来1000架支线客机的市场，如果原中航商飞公司没有获得启动用户的话，他们不会真正积极地参与到项目中来。几乎所有的供应商都对中国的市场做过详细的预测，并且他们都与国内航空公司保持着非常密切的往来，他们从航空公司那里证实了原中航商飞公司所公布的信息。同时，70～90座支线客机的市场需求已经真正开始显现了，并且这个市场需求是被世界供应商所认可的。

时机非常重要，原中航商飞公司抓住了这个难得的机遇！

与此同时，全球航空产业链的每个层次正在形成一股强大的“集约趋势”，来自于系统集成商的巨大压力，导致全球航空制造业在结构上做出了重大

调整。为了达到系统集成商的要求，全球主要零部件供应商开始投入大量资金用于研发和扩大生产规模，以规模经济降低成本，以专业化的生产提高自身竞争力。

当时，GE公司为了获得ARJ21项目，竞标时发动机的报价非常低，为了降低成本，他们必然要主动联系国内的飞机制造企业希望合作生产。中国航空企业与欧美航空企业合作生产航空零部件（转包生产）已有20多年时间，按照中国的技术积累，要想真正切入到整机技术合作，这是一个很好的时机。2003年９月１９日，沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司与GE公司签署CF34-10A发动机合作意向书，确定由黎明公司承担该发动机零部件的加工、装配和试车工作，工作量至少为发动机采购额的5%，目标工作量将达到总采购额的10%。

漫长的谈判用了四年的时间，在此期间，GE公司一直在观望着ARJ21项目的进展情况，以及中国政府对ARJ21项目的态度。意向签订之后，尽管黎明公司积极地进行了技术交流和商务方案的准备，GE公司的态度却越来越不明朗。2005年，GE公司表示将在中国的发动机企业中重新寻找合作伙伴，这完全背离了合作意向书的约定。2006年珠海航展期间，GE公司在综合考虑了一些政治与市场的因素之后，做出了关键性的让步，2007年9月7日，双方正式签约。

适航认证是CF34-10A发动机生产最为关键的一环，GE公司将FAA颁发的生产许可证延伸至黎明公司是解决适航问题的有效途径。但是，GE公司出于技术层面的限制，要求黎明公司自己申请中国民航总局的生产许可证。“航空发动机生产项目适航认证在中国是第一次，将面临许多新的课题，难度之大、难关之多尚无法估量。”时任沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司副总经理贾东晨在接受记者采访时表示，“黎明公司一直在积极开展适航认证工作，结合下一步适航认证要求，我们将完全采用美国的工艺技术和相关标准、流水线布局和生产管理模式，完全按照美国的生产技术、质量管理完成项目，以满足适航认证的基本要求。”

国内媒体普遍认为，对中国航空发动机行业来说，这是一个非常好的起点，一个练兵和积累的机会。CF34 -10A发动机是中国航空发动机行业与国外厂商开展的第一个整机技术合作项目，其核心机技术源自CFM56发动机，具有大型商用发动机的技术特点。中国航空发动机行业自新中国成立以来一直是作为航空工业配套动力，形成了一套俄罗斯模式的管理体系和发动机型号，这一次合作生产欧美系列航空发动机是在技术、管理和产品型谱上的一个跨越。

对此，美国《防务新闻》发表文章表示，目前，中国航空制造业的规模越来越大，并且技术越来越先进，这主要归功于他们与西方在商业领域的合

作。美中经济与安全评估委员会的分析人员甚至认为，中国航空制造企业正在把从商业合作中学习到的创新理念、质量控制和先进的管理方法转移到军用产品的制造中。

原中航商飞公司大量采购国外系统的现实令国内机载企业非常沮丧，他们认为采购国外机载设备会带来众多弊病，尤其是采用美国的机载设备，必然会受到其出口限制的影响，这将直接影响ARJ21-700飞机在国际市场上的开拓。国外供应商不会关注产品对飞机性能的提高，他们更重视的是产品的销售份额。为了降低成本，国外供应商通常都不愿意对系统/设备进行适应性改进，因为，这需要花费大量的经费，所以，未来ARJ21-700飞机系统升级面临着众多的困难。

面向全球，择优采购符合设计和适航要求的成熟产品，这个看似简单的条件，却无形中将中国机载系统企业全部排除在选择之外。当时，原中航商飞公司查阅了国内所有机载系统企业的产品目录，遗憾的是，没有一家企业的产品是经过CAAC、FAA或者EASA适航认证的成熟产品。

“我们的目标是成为支线客机的主制造商和大型飞机的供应商，成为重要的航空零部件转包生产商和信誉良好的风险合作伙伴。”杨育中强调，“但是，要想实现这些角色的转变，仅仅通过ARJ21-700飞机，这一个项目是不可能完成的。目前，我们的首要任务是将ARJ21项目做成功，然后再逐步向大型飞机的部件供应商、唯一供应商以及风险供应商过渡。”市场的确换不来关键技术，但是，在市场的推动下，中国正试图通过新的商业模式建立起一个完整的民机产业体系。

2003年，中国航空无线电电子研究所与罗克韦尔·柯林斯公司进行合作，共同承担ARJ21-700飞机航空电子系统有关项目的开发任务，其中包括软件验证、设备软件开发和系统开发领域的相关研究。柯林斯公司公务和支线系统部副总裁兼总经理丹尼·海尔格森（Denny Helgeson）表示：“我们与中国航空工业拥有近20年的合作经验，对中国航空工业的科研、生产实力非常了解，我们希望能够通过ARJ21项目的合作，扩大在中国的市场。”目前，柯林斯公司除了在上海现场的工作小组外，在美国总部还有100多人的工程队伍在进行ARJ21-700飞机航电系统的设计。

时任上海航空工业局局长金兴明表示，“虽然我国军用航空电子系统已经越来越成熟,但是，商用航空电子产品基本依赖进口。在ARJ21项目上，我们与国际供应商进行了多层次的国际合作，在系统总体设计能力、系统集成能力、制造工艺及技术、系统综合验证测试能力、系统研发综合管理能力等方面都得到重要的学习机会。”

过于强调原始创新与完全依赖技术合作，都会令企业丧失难得的发展机

遇，不惜一切代价地进行新技术投资并不是ARJ21项目获得商业成功的保证。在经济全球化的背景下，怎样与世界供应商进行技术与商务沟通，怎样合理地利用全球资源进行研发，这才是ARJ21-700飞机获得商业成功的关键所在。

新一轮的自主研制与国际合作的争论，在民机产业化发展的征途上，终于放弃了情绪化的表达和过于理想化的期望。在突破或者绕过了旧有意识的樊篱之后，AVIC1以更加开阔的共赢理念与姿态向世界诠释了国际合作的新内涵：没有竞争对手，只有合作伙伴。

当我们把历史镜头回放到2003年，那时候，ARJ21-700飞机的进展情况却并不乐观！

我们成了在JDP阶段花费时间最长的飞机

一句非洲谚语说："要想走得快，就一个人走。要想走得远，就与人一块走。"ARJ21-700飞机需要飞得又远又快，为此，原中航商飞公司需要与风险合作伙伴一起来分担责任，共同努力。

2002年12月，原中航商飞公司首先启动了与GE公司的联合定义工作，在此期间，联合工作团队定义了飞机和推进系统的关键接口及详细设计要求。飞机在高海拔、高温机场运营时承载能力就会下降，按照民航总局的有关规定，机场气温每升高1℃，飞机就得减载500公斤，如果不及时减载，飞机降落时就会出现"重着陆"，这样会给飞行造成安全隐患。为了达到ARJ21-700飞机在西部航线和西部机场适应性上的要求，GE公司还对动力系统的方案做出一些修改，以使ARJ21-700飞机在不减载的情况下依然能够在高海拔和高温地区飞行。

2003年，12家系统供应商全部选定之后，100多人的供应商队伍与中国的工程技术人员组成了联合工作团队，来共同定义ARJ21-700飞机上所有的系统与设备。他们的工作范围涉及工程、计划、采购、适航、技术保障、制造、质量、产品支援、IT（信息技术）等多个专业。

系统具备哪些功能，怎样装到飞机上，装在什么位置，导线怎么布置，重量指标是多少，可靠性指标是多少，跟其余系统之间的关系是什么，每个成熟系统装在飞机上之后要做多少项试验，鉴定哪些功能，试飞哪些科目，安装哪些特殊设备等，所有与飞机相关的问题全部都要定义清楚，即使是成熟的货架产品也要做适应性的更改。"选择国际知名供应商就是选择和谁一起造飞机，从某种意义上说，原中航商飞公司选的不是飞机系统，选的是供应商的能力与工程经验。"陶志辉表示，"风险共担、利益共享、确保项目成功，这是我们对供应商提出的明确要求，他们的产品和工

程经验将帮助我们降低ARJ21项目的研发风险。”在此期间，供应商也在努力争取让他们的技术获得最终的出口许可。

按照国际惯例只需要6～8个月时间的联合定义工作（JDP），ARJ21项目却用了32个月的时间，意想不到的麻烦使它成了在JDP阶段花费时间最长的飞机。

很多单纯的先进技术对于飞机制造商来说并不是获得商业成功的关键，而怎样对项目进行整体协调和整体规划，怎样与世界范围内的供应商沟通，怎样合理利用全世界资源，怎样以最快的速度将产品投入市场，这些能力才是企业参与国际竞争的关键所在，目前，中国企业还不具备这样的能力。

当一个巨大的风险项目开始加速时，随着投入数以百万计的美元和大量的人员和设备，项目也会达到一个关键节点，此时，若想再试图退缩将会导致灾难性的结果。“如果我们在ARJ21项目上失败了，那么我们将在飞机制造领域内面临非常严重的信任危机，因为，供应商们是以风险合作伙伴的身份参与ARJ21项目的，他们的利益要在ARJ21-700飞机的市场销量中体现。”当时的混乱局面，让陶志辉有种如履薄冰的感觉。

麻烦接踵而至，而且问题变得越来越棘手。

2003年3月，波音公司宣布取消“音速巡航者”项目，启动波音7E7计划，不久之后，俄罗斯苏霍伊公司“超级喷气100”支线客机、日本三菱重工业公司MRJ喷气客机项目也先后宣布启动。飞机制造业市场一下子变得热闹起来，新的飞机项目令国际供应商们应接不暇。看着供应商们纷纷将优秀的人力资源投向了新的飞机项目，原中航商飞公司意识到，他们错过了发展ARJ21-700飞机最好的时机。

2005年，在众多问题没有彻底解决的情况下，原中航商飞公司强制性地结束了JDP工作。当时，做出这个决定的风险实在是太大了！飞机的方案在不断地更改，这更增加了供应商们的焦虑，从来没有一架飞机经历过这么多的更改。

供应商在对ARJ21项目丧失信心！他们认为，原中航商飞公司的设计师缺乏系统、完整的商用飞机设计经验，在条件不成熟的情况下启动联合定义工作是非常糟糕的事情。在详细设计的过程中，原中航商飞公司又更换了80%经过联合定义确定的系统设备，陶志辉说：“我们在不断地增加飞机功能，增加系统要求，几乎把联合定义阶段确定的飞机系统级的要求全部更改了，也等于是把原来选的系统设备全部废弃了。”

因为时间的拖延，供应商所承担的风险投资费用也在不断地增加，为了弥补损失，供应商开始对JDP阶段发生的所有设计更改收费，即使是些细小的更改，和当初承诺不收费的更改。供应商也逐渐开始雇用中国设计师来取代本国设计师的工作，雇用一名美国设计师的费用可以雇用四名中国设计师，这样可以为公司节约不少成本。

能力只有通过型号研制的实践，才能逐渐形成和积累起来。相对于波音公司4000多人的项目管理团队，原中航商飞公司采购和管理团队加在一起才十多个人，目前，能够催促供应商及时、准确地交付ARJ21-700飞机所需要的各种系统和设备，就已经是件非常不容易的事情了。设计人员的流失也是耽误项目进度的主要原因。当时，原中航商飞公司工程部有经验的老设计师年龄越来越大，年轻设计师虽然掌握现代的技术理论知识，但是普遍没有经过实际设计的体验，知识还停留在纸上谈兵阶段，必须经过现实的工程锻炼才能成为具有工程化经验的飞机设计师，而市场经济又使一批年轻有为的、有一定工程经验的设计师跳槽。设计ARJ21-700飞机机翼的设计师就更换了三名，每个人离开时都带走了经验，而留下了一个没有完成的设计方案。新的设计师不得不重新与供应商进行沟通，重新开始设计，不可避免地又要走很多弯路，不但在设计上缺少连续性，也耽误了项目的进展。

“发展企业核心能力和产品在市场上取得成功往往是交织在一起的。”时任原中航商飞公司总经理郑强将这个时期称为痛苦而兴奋的过程。原中航商飞公司就如同一个新生儿一样，每前进一步虽然艰难，但会看到一个新的世界。

2006年12月4日，原中航商飞公司与法国萨基姆（SAGEM）公司签订驾驶舱控制系统合作协议。至此，ARJ21项目选定了美国GE公司、霍尼维尔公司、汉胜公司、柯林斯公司、帕克公司、欧洲利勃海尔等19家世界顶级系统供应商。

它看上去根本不像一架即将下线的飞机

原ARJ21-700项目副总指挥李玉海，在ARJ21项目总装下线的仪式上介绍说：“共有1.3万人参与ARJ21项目，作为一个复杂的高科技比较密集的重大工程，首次完整地走一个和国际接轨的道路，不管是在方案论证、设计上，还是在试飞、适航取证、生产上都遇到了很多问题，但是，如果说最大的困难，我认为没有，我们始终有一个信念，那就是办法总比困难多。”

事实也的确如此……

两个星期前，就在举行下线仪式的总装厂房里，ARJ21-700飞机看上去根本不像一架即将下线的飞机。

当时，它身上还披着“香蕉黄”的外衣，两台漂亮的发动机还摆放在隔壁的房间里。

超临界机翼上站满了装配工人，机翼下面一名副总设计师正拿着一个装配不上的部件与七八名工程师协商着解决方案。

驾驶舱里几名工人正在安装脚蹬，他们盼望设计师们不要再改动设计，哪怕是出现最细小的改动，一切都将不能及时完成。

飞机的货舱里三四名工人正在将电线、管路和导线安装在合理的位置上。

两名工程师正在为舱门上少打的几颗铆钉发愁，与此相反，负责机头的工程师正苦恼于壁板上多出来的几颗铆钉。

飞机工作区的外边，一字排开的桌子上摆着电脑、测试设备、各种各样的图表，还有出了问题的零部件……这里就是上海飞机设计研究院“跟产队”的现场工作区。桌上的电话响个不停，这些电话可以打给世界上任何一个地方，找到那些正在为ARJ21-700飞机飞起来而努力工作的人们。

上海飞机制造厂总工程师姜丽萍正在与原ARJ21-700飞机总设计师吴光辉商讨着如何处理一长一短的两个襟翼支架，借着处理这个问题的当口，吴光辉坐在组装现场的工装台上休息了五分钟。只要他出现在总装现场，那么，现场出现的任何问题都可以直接报到他那里，“这是最快速而有效地解决问题的途径”。很多时候现场的工程师会直接拉着吴光辉到装配出现问题的地方，希望他能当场就将这些问题解决掉。吴光辉经常一言不发地听完工程师的意见，然后就直接点将，将负责这部分设计的人员叫到现场，告诉他们应该如何解决这个问题。就连一名普通的装配工人都知道吴光辉从来都不会把问题推给别人，“今天能解决这个问题吗？”

“我们会的!”

这支年轻的商用飞机研制队伍正在亲历工程实践的过程中，提升能力，淬炼气魄！这一次他们涉足了太多的未知领域，在一个真实的项目中，去体会工程的生动与复杂，更为重要的是，去体会如何做到能够赢得广泛的信任与尊重。这不仅需要拥有解决问题的勇气与能力，或许，更重要的是具备面对现实与承担责任的美德。

虽然ARJ21-700飞机已经是一架由图纸变为实物的飞机了，但是，它现在并没有完全做好飞起来的准备。

2008年1月14日，在“新型支线飞机决战首飞动员大会”上，参会人员同时发现了一个重要的问题，中航商飞没有宣布明确的首飞时间。

会议结束后，所有参与ARJ21项目研制的企业领导躲过了媒体的视线，秘密集中在上海市奥林匹克饭店内的一间会议室里，他们需要共同协商出一个务实的首飞时间。

奥体宾馆的会议终于在晚餐前结束了，争论得口干舌燥的人们相继从烟雾缭绕的会议室里走出来，激烈的辩论使他们神情疲惫。李玉海手里拿着刚刚在这次会议上确定的首飞时间，他需要努力让自己相信，这的确是个真实的首飞时间，而不会像这房间里的烟雾一样遥远而缥缈。

并不是什么事情都无法确定，起码，霍尼韦尔公司无法在规定的时间内完成飞控系统的调试工作已经是确定无疑的事实了。ARJ21-700飞机项目总指挥罗荣怀一直在密切关注着每一条有关波音787飞机延迟交付的新闻，因为，霍尼韦尔公司开发的飞控系统软件正是使这架“梦想飞机”延迟起飞的重要原因……

2007年10月22日，原中航工业集团副总经理张新国访问霍尼韦尔公司，就关于ARJ21-700飞机飞行控制软件构型和交付的状态进行协商。霍尼韦尔公司希望能够以“直接模式”软件进行首飞的要求，最终没有得到原中航商飞公司的认可。设计师们认为“直接模式”软件不能满足安全首飞的必需功能。首先，起飞时出现单发停车现象，方向舵的权限不够，会出现飞机原地打转的现象。其次，没有偏航阻尼功能，会降低航向稳定性，加大飞行员的飞行负担。最后，失去了改善飞行品质所增加的功能……

原中航商飞不得不面对全球采购带来的危机……

这是个全新命题，即使是波音公司、空客公司面对这个棘手的新问题，至今也没有圆满的解决办法。那么，“全球采购危机”，它将如何影响ARJ21-700飞机的命运呢？

与波音公司选择同样的系统供应商，在获得益处的同时也给原中航商飞公司带来了同样的麻烦。更为严重的问题在于，原中航商飞公司能够像波音公司一样获得航空公司的信任吗？ARJ21-700飞机能够像波音787飞机一样依然得到市场的期待吗？

对于原中航商飞公司而言，在关键时刻“风险合作伙伴”的表现并不像之前他们所承诺的那样值得信赖……

2008年3月28日，原中航商飞公司对外界宣布，由于ARJ21-700飞机关键

系统供应商未能按时提供试验条件，首飞时间向后推迟。ARJ21项目总指挥罗荣怀回答记者提问时表示："我们对首飞的推迟感到有些遗憾。目前，我们正努力确保'翔凤'飞机飞控系统的及时交付，以实现2009年交付客户的预定目标。"

对此，霍尼韦尔公司全球副总裁沈达理在接受记者采访时暗示，目前一些国家和地区确有因为政治及其他原因限制相关技术输出的条款，或者有一些人为障碍，但是，霍尼韦尔公司身为一家全球跨国企业，"可以在世界其他地方开发类似的技术和产品……"

2007年11月29日，整个下午，上海飞机设计研究院航电室的技术人员都在和柯林斯公司的代表就ARJ21-700飞机首飞时航电软件交付的状态与进度问题，进行艰难的交涉。

柯林斯公司代表提出，由于霍尼韦尔公司的飞行控制软件目前出现了问题，即使柯林斯公司交付了航电软件也是没有用的，何况目前还有很多关联的数据上海飞机设计研究院也没有提供出来。

于是，一名技术人员拍着柯林斯公司代表的肩膀说："不管你是从哪里获得的消息，但是，我得告诉你，你的信息并不准确。到目前为止，我们的老板并没有告诉我们哪家供应商出现交付问题，首飞将会推迟。想想看，作为国际知名供应商，如果柯林斯公司落在了别人后面，拖延了整个项目的进度，那可真是一件很丢面子的事情。所以，我们应该一起努力来保持我们目前的名次，要知道，我们目前可是所有供应商中交付最快的。"

显然，这些话起到了作用，作为连续三年获得"优秀供应商"荣誉的柯林斯公司最终决定，还是不要以损害公司信誉为代价拖延航电软件的交付进度，但是，对于首飞时航电软件的状态还需要与公司总部进行协商。

事实上，上海飞机设计研究院所有的人都知道，霍尼韦尔公司的飞行控制软件的确出了问题，根本无法保证ARJ21-700飞机的首飞时间。目前，上海飞机设计研究院必须稳住其他供应商不要以此为借口拖延其余系统的交付时间。

随着ARJ21-700飞机的飞行控制系统的延迟交付，原中航商飞公司与霍尼韦尔公司的对话级别也在不断升级。霍尼韦尔公司承认问题的确出在自己身上，并且表示，公司也非常看重企业的国际信誉，包括公司与ARJ21项目的"风险合作伙伴关系"，但是，此刻公司在ARJ21-700飞机上能够投入的资源的确是有限的……

2007年12月12日，美国《航空周刊与空间技术》报道：霍尼韦尔公司在

波音787飞机上的飞控软件在飞行模拟中刚刚通过验证。2007年9月，波音公司曾表示，由于飞行控制软件的缺陷导致首架波音787飞机的首飞时间由8月末推迟到12月中旬。

显然，在霍尼韦尔公司心目中，波音公司的地位远远超过了原中航商飞公司。但是，霍尼韦尔公司也的确不愿意得罪原中航商飞公司，因为，原中航商飞公司背靠的是中国——这个已经拥有全球第二大航空市场的大国。

是啊！谁知道未来的霸主会是谁呢？不过，那是未来将要发生的事情，对于系统供应商的项目团队来说，当然谁的飞机当时订单多，谁自然会获得公司最优质的资源保障。截至2007年12月29日，波音787飞机的订单数量达到790架；截至2007年12月21日，ARJ21-700飞机的订单数量达到171架。

“霍尼韦尔公司在参加ARJ21项目的同时，也在为波音787飞机提供航电与飞行控制系统。引起ARJ21项目进度推迟的直接原因，就是我们和波音787飞机的工作产生了冲突，霍尼韦尔公司的大部分人力资源流向了波音787项目，造成ARJ21项目人力资源不足，最终导致进度拖延。”ARJ21-700飞机副总设计师田剑波介绍说。

“一般来说，新研制的飞机首飞都不是全功能状态，从安全性上考虑，不是说功能越多越安全，经常是功能越多，一旦失效，带来危险的情况就越多。飞机从首飞到试飞是一个过程，很多性能都是在这个过程中逐步完善的，特别是电传操纵的飞机，飞行员不再是通过机械器械对飞机舵面进行直接控制，而必须是通过计算机，而计算机对舵面的控制往往是飞行员无法预料的，在这个情况下，增加了危险程度，所以，基于安全性问题考虑的因素就非常突出，任何国家都是这样。”田剑波介绍了当时ARJ21-700飞机飞控软件出现延误的情况，“我们最好是能有一个全功能的飞控系统。针对当时的情况，我们采取了非常积极的措施，主要是与霍尼韦尔公司为ARJ21项目服务的团队一起努力，让霍尼韦尔公司为ARJ21项目调动更多的资源，减少一些首飞时的功能，尽快提供一个减化的飞控系统首飞构型。霍尼韦尔公司为ARJ21项目服务的团队是非常积极的，但是他们没有从公司直接调用资源的权限。”

飞控系统一般有两种工作模式：一种是“直接模式”；另一种是“正常模式”。田剑波详细地介绍了这两种模式的区别所在：在“正常模式”下，飞控系统有完整功能，要求硬件资源、外部信号、外部资源都处于正常状态，这样飞控系统才能完整正常地工作。在“直接模式”下，只提供了对飞机舵面最基本的控制，最纯粹的“直接模式”是不依赖于数字计算机和软件而由纯模拟电路来工作，这也是ARJ21-700飞机的设计特点，是ARJ21-700飞机飞控系统安全的最根本保障。两个工作模式之间是一个逐步降级的过

程，“直接模式”和“正常模式”之间还有一个非常明显的界限是“空速增义信号”，随着空速变化调整驾驶员操纵器件到舵面的传动力，保证飞机在高速和低速的时候都有一个恒定的操纵反应，使飞行员感觉飞机比较好操纵，只要用一个恒定的操作动作、力量就可以了。在“直接模式”下，仅提供了比较粗糙的传动力；在“正常模式”下，随着空速联系的变化，连续地调整传动力得到比较充分的优化。

“‘直接模式’一般对应的是失效状态和飞行故障，如果我们接受霍尼韦尔公司的建议，用‘直接模式’首飞就等于宣布ARJ21-700飞机是在带着故障首飞，所以我们不能接受。”田剑波说：“更重要的还是涉及安全问题。在‘直接模式’下缺少很多功能，例如首先是方向舵的控制权限问题，假设在起飞的时候正好出现一台发动机停车这种极端的状况，会因为方向舵的控制权限受限而无法纠正飞机的航向，最终会使飞机出现冲出跑道的危险；其次，偏航阻尼器的问题，这也是在‘直接模式’下没有功能，缺少偏航阻尼器会降低飞机的操纵性和稳定性，不仅使飞机的品质降低，也会降低飞行员驾驶飞机的相对安全性。还有很多其他原因导致我们不能接受霍尼韦尔公司的要求。”

欢迎你，中国民机ARJ21-700飞机

2007年12月30日，时任中共中央政治局常委、国务院总理温家宝在视察原中国第一飞机设计研究院时指着ARJ21-700飞机的模型高兴地说：“这是前两天刚下线的吧，我看了电视直播，很漂亮啊。”在特种装备设计研究室，温家宝将干部职工召集到自己身边，充满深情地对他们说：“今天，我的心情也和你们一样激动，有很多话想对你们说。你们肩上的担子很重啊！让中国的大飞机飞上蓝天这是国家的意志，这个国家意志的分量我不知道你们想过没有，有多重？国家已经对外宣布了，就是说我们必须要做，而且一定要做成功！13亿的中国人，有5000年历史的中国，说话一定要算数！”

在强调了研制大飞机的意义与难度之后，温家宝最后嘱咐说：“中国大飞机的研制重任就在你们肩上，你们肩上的担子很重！中国的大飞机项目代表着国家意志，我衷心地希望你们能以百折不挠的精神和钢铁般的意志，勇敢地挑起这副重担，坚决完成大飞机研制的重任。我也相信你们一定可以实现这个愿望！”

2008年5月11日，中国商用飞机有限责任公司在上海挂牌的当天，新华社全文播发了中共中央政治局常委、国务院总理温家宝的署名文章《让中国的大飞机翱翔蓝天》。

文章中指出：“制造出有竞争力的大飞机，重要的是靠人，靠每一位设计

人员的智慧和创造力。一个国家的实力是有限的，但人的创造力是无限的。所以，大飞机制造靠国家实力，靠科技的综合能力，但归根结底要靠人、靠设计师。要把国家意志变为人的意志，变为设计师的意志。我国经过半个多世纪艰苦奋斗所形成的比较完整的航空工业体系，一批掌握先进设计技术和有一定实践经验的人才队伍，是研制大型飞机的基础条件和重要力量。现有的设计、科研、试验和生产等宝贵资源，不应该丢也丢不得。”

英国《金融时报》对中国研制大型客机项目报道说：“‘民族制造’的言辞背后，中国官员们正在努力淡化中国商飞公司对现有两个飞机制造业巨头的威胁。波音公司和空中客车公司都派高管人员出席了中国商飞公司5月11日的成立典礼，并且，两者都希望成为中国大型客机零部件的主要供应商。”

2008年5月12日，在中国商飞公司挂牌的第二天，波音公司商用飞机中国事务副总裁庄博润就对媒体透露说，波音公司与上海飞机制造厂之间此前签署的为期13年的配件供应合同将会再延长5年。于是，《经济观察报》发表了一篇题为“大飞机起飞时刻，波音加码中国合同”的文章，作者认为，波音公司将会“间接支持中国大飞机项目”。

2008年5月28日，空客公司中国公司总裁博龙在亚洲协会第18届企业年会上接受记者采访时说：“对于中国正在研发的大型客机项目，空客公司正与中方合作伙伴商议争取以合作方式参与该项目。空客公司将继续与中国开展合作，尽管合作的方式也许会有所不同。现在，我们正在天津建造工厂，这个项目会持续若干年。关于未来，我们正着眼于在哈尔滨成立复合材料制造中心，尽管有一些因素也许会使中国成为我们的竞争对手……”

同一天，87岁高龄的波音747总设计师乔·萨特则在北京航空航天大学的演讲中对中国同行提出建议：当你计划设计一架飞机时，最重要的是在早期就去了解市场。波音747项目一度将波音公司带到了破产的边缘，正是凭借着准确的市场定位，波音747系列飞机才获得了全球累计1500架的订单，所以萨特非常看重客户需求与控制飞机研发成本。他表示说：“无论对于什么样的生意，成功的秘诀就是正确地分析并努力满足客户的需求。在商用飞机领域这显得尤为重要，因为开发一款喷气式飞机耗资巨大，任何错误都将导致付出惨重代价。”

2008年6月2日，波音公司董事长、总裁兼首席执行官詹姆斯·麦克纳尼(Jarnes McNerney)因为波音787飞机的延迟交付，而对中国客户进行了为期三天的危机公关。中国国际航空公司、东方航空公司、海南航空公司、上海航空公司和南方航空公司总共订购了57架波音787飞机。

在为期三天的行程中，每当面对政府官员、合作伙伴和媒体记者时，麦克纳尼总是平静地表达自己对于中国研制大型客机的看法：“中国有训练有素的人力，强烈的创业精神和巨大的国内市场，所以，中国将成为世界飞机制造商的有力竞争对手。”麦克纳尼此次访华的主要意图是推进波音公司与中国航空工业的一系列深化的合作：波音不仅要增加合同量，将更多的工作放在中国，还要提高工作的技术含量，包括进行更多的技术转让。

同时，麦克纳尼也强调说：“市场最终还是要让客户来决定。波音公司相信自己对于客户、现有产品以及未来产品的关注，会令波音公司在新业务竞争中处于有利地位。”就在麦克纳尼离开中国的当天，南方航空公司董事会向定于6月25日召开的年度股东大会提出议案：审计控股子公司厦门航空有限公司向波音公司购买20架波音737系列飞机，订单价值约为15亿美元。

面对这些信息，从事国际合作业务的专家则提醒说，这些姿态只不过是波音公司与空客公司上演的一幕双簧戏！他们既想通过合作来拖延对手的时间，又想在合作过程中获得中国政府更多的资金支持。不过这一次，即使波音公司与空客公司愿意重复10年前的故事，但是，中国商用飞机产业却不准备再给出相同的答案……

当年，波音公司也是通过合作的手段来拖延空客公司研发大型客机的决心以及对市场需求的判读。《最高的战争》的作者对此进行了详细的描述：1992年，波音公司与空客集团的四家控股公司达成一项协议，准备共同研究开发大型商用客机。一方面，空客集团从一开始就怀疑波音公司与其合作开发一款能与波音747飞机产生竞争的飞机的动机，波音公司怎么可能将大型客机市场的垄断权分享给一个只占有20%市场份额的竞争对手，然后，再帮助对手将份额提升到50%呢？在空客集团内部产生了不同的意见，英国宇航公司感觉自己力量过于薄弱，难以在飞机制造中担当重任；德国人希望在大型客机研究中拥有领导整个欧洲团队的地位；而对于法国人来说市场份额就是一切。

另一方面，日本成为双方都极力争取的伙伴，一位空客的管理人员透露了极力拉拢日本的真实意图:“我们希望拉拢日本方面与自己合作，这样可以避免形成一个独立的以日本为首的亚洲飞机制造联盟，否则这个国家以后会给我们带来巨大的挑战。”不过，空客集团还是晚了一步。1993年1月，就在空客集团与日本三大公司谈判的当天，三大公司就和波音公司发表了一份联合声明，宣布双方将共同合作对大型客机的潜在市场和市场推广的可行性进行研究。

实际上，波音公司试图通过拉拢日本来牵制空客集团对大型客机项目的研制工作。时任波音公司总裁弗兰克·斯克伦兹（Frank Schrontz）说过:“我

们不会让自身在这一方面的研究停止下来，我们也不认为，这样就能阻止空客集团在大型客机研究方面的一些作为，当然，我们也不是要借此分裂空客集团，打击他们的产品。但是，一个财团想要战胜另外一个财团的方法就是这么简单与直接，我们的目的很明确，如果大型客机的确有市场，那我们就一定要抢占这个市场。”

自始至终，波音公司从来没有考虑过要和德国宇航、英国宇航系统公司以及日本真正进行合作来制造这款大型客机。

除了空客公司表示“愿意参与中国大飞机项目”以外，大多数国际航空专家则对中国在10年内造出大型商用客机的计划持有怀疑态度，亚洲航空航天论坛主席马丁·克雷格斯(Martin Craigs)说：“我丝毫不怀疑中国有这样的雄心和财力支持。但是，空客公司用了20年才有实力与波音公司一争高下。”另外一些金融人士更是直言不讳地表达自己的观点，瑞士银行驻香港的分析师达明·赫尔特(Damien Horth)说：“我不认为中国制造的150座级大型客机在未来10年内能飞上蓝天。”

“如果我们因为害怕惹怒了世界上的其他人而不作为，那么，我们将永远无所作为。而且记住这点：即便那样，他们也同样会指责我们的。”卡内基国际和平基金会美国研究高级研究员罗伯特·凯根(Robert Kagan)说。

历史是无法重复的棋局，人们永远无法预料那错失的一步或几步究竟会带来怎样的结局。40年的光阴荏苒，人们不难发现所谓错失机遇和可以避免的泡沫，似乎都有着不得不然的宿命意味。历史虽然会惊人的相似，但历史绝不会只做简单的重复。毕竟，如今口号、使命、愿景等形而上的语言已然让位于资本、产业、品牌等中性的现实。从一飞冲天的雄心壮志到务实前行的平和踏实，航空人已经和中国改革一样经历了一个进取务实的商业化过程。

如何体现国家意志：“是亚细亚人、法兰西人，还是日耳曼人？多元文化，让我们体察各地用户所需。”空客公司的广告词如是说。

空客公司一直是由欧洲多个国家公司组成的联营企业，其中包括法国宇航·马特拉公司、总部在德国的戴姆勒·克莱斯勒宇航公司、西班牙航空制造有限公司以及英国宇航系统公司。2001年，公司完成一体化，组成全新的空中客车公司，但仍保留了跨国联合经营生产的特色。空客总裁弗加德(Noel Forgeard)说：空客公司既不是法国企业，也不是德国企业，而是欧洲企业。空客公司分布在法、德、英、西四国的16家工厂，各自经营却又协调一致地生产着空客系列的每一架飞机。

在20世纪60年代结束之际，占据强大无比的统治地位的美国制造商统领世

界经济的势头在当时还只是初见端倪，但是，这已经开始对欧洲大多数国家产生了刺激。1967年，《美国的挑战》一书作者瑟范·施赖伯写道：“美国的工业遍布世界，这主要是因为美国企业所释放出来的能量。”他认为这种能量不在于美国的企业家，而在于“建立在政府出资与指导下的大型企业基础上的具有高度组织性的经济体制”。根据他的分析，美国的国家与企业实力天衣无缝地相互交织在一起，形成一个经济攻城锤。“这是美国工业冲击力中最为强劲的战略特性，一个紧接一个，美国企业以最高的增长率占领了一个又一个的经济阵地。”他认为，欧洲寻求与其竞争的唯一出路就是建立自己的国家身份，在各国政府的指导下，以他们自己的方式向美国挑战。选择是显而易见的，“不建立一个独立的欧洲，就得成为美国的一个附庸”。

就是在这种民族主义的激情中，空中客车的概念浮现出来。

法国有着令人自豪的航空发明传统，早期的载人气球就是法国人发明的，虽然气球最后走进了死胡同，但至少表明法国人士非常愿意涉足航空业这块冒险家的园地。早期航空业中有许多著名的人物就是法国人，但是，这种创新精神并没有转变成商业上的成功。当法国凭借着扬帆飞机在商用飞机市场崭露头角之时，一场欧洲与美国之间的竞争就展现开来。当时的国际热点，是从博斯普鲁斯海峡到日本海，其中经过了从中东到中亚、到印支次大陆的广阔天地。这是今天世界上已知的最重要的战略物资——石油的储存地和运输线，而美国和欧洲在这些地区的利益是不同的、有冲突的，这正是法美关系变化的根本所在，同时，这里也包含了老贵族对新暴发户的不满、嫉妒与无可奈何。

法国的外交，是注重价值的外交，也是注重技巧的外交。虽然，空客公司掌握的技术只是制造飞机，而不是全球工业政治，但是，他们却将全球的政治战略转换成可利用的全球工业化动力。20世纪80年代，凭借着“丝绸之路”战略，空客集团后来者居上。欧洲工业复兴的激情使空客集团的股东们能够放下纷争达成一致，他们努力摆脱象征旧世界工业强权企图的政治实体地位，而尽力发展成为一个正常的经济实体。“打败波音！占领50%以上的商用飞机市场！恢复欧洲商用飞机制造业在国际市场上应有的地位……”每每想到这些情景就会令整个空客公司感到热血沸腾，这正是促使股东之间放弃分歧与争论，向一个20年时间才能获得回报的产业进行持续投资的动力所在。

美国，一直把制造业看作是强国富民之本，并始终对制造业产业进行扶持，以保证其成为永远的霸主，正如20世纪大型船舶制造商是英国人的天下一样，现在的飞机制造商就是美国人的天下。美国波音公司凭借着军用技术的积累首先进入喷气时代，而在泛美航空公司的坚持下创造出远程宽体客机波音747飞机，从而改变了人类的交流方式，垄断了全球市场。通

过资本市场的运作，波音公司不断地规避风险、获得利润使股东获得高额回报成为企业发展的持续动力。

2008年11月28日12时23分，由我国自行研制生产的首架喷气式支线客机ARJ21-700飞机在上海飞机制造厂机场飞上蓝天。

人群发出欢呼声：欢迎你，中国民机ARJ21-700飞机！

11月28日12时33分，地面塔台报告：中国飞行试验研究院承担了此次首飞任务，首席试飞员小组由赵鹏任左驾驶、陈明任右驾驶、赵生为机上观察员，地面塔台正指挥员为汤连刚、副指挥员为高卫东，由赵明禹、张启龙承担地面监控大厅正副指挥员。

“发展中国自己的大飞机是国家意志、民族梦想和人民期盼，组建中国商飞公司是站在历史和全局的高度做出的重大决策，是实现我国商用飞机产业化的主体。”中国商飞公司董事长金壮龙说，“虽然组建的时候，我们是多元化的公司，但是创业、创新与创造却是中国商用飞机产业赖以发展的骄傲力量，这种力量将带领我们开创属于中国的商用飞机产业发展模式。”

中国商飞公司在组建之初就面临着危机与考验，“ARJ21项目和C919项目就像是两列已经从北京出发的列车，以疾驰的速度在向前飞奔，可是沿途的车站还没有建立，甚至应有的铁轨都还没有铺设到位，这就是我们当时面临的情况……虽然公司组建了，但是相关的体系都还没有建设起来，我们当时的心态就像是‘生死时速’，必须赶在列车到达之前将铁轨铺设起来，保障列车安全的通过。”金壮龙说，“我们一边规划、一边建设、一边研制、一边引才，还要一边探索，而最重要的就是向让ARJ21-700飞机飞起来！”

11月28日13时24分，ARJ21-700飞机在上海飞机制造厂机场跑道上平稳降落，首席试飞员赵鹏向全体在场人员报告：飞机状态正常，试飞员操控感觉良好！

美国思想者网站对此评价说：希望中国人能将自己的飞机产业牢牢抓在自己手中，奋力发展，最后能追赶上空客与波音的高度。

---

[4] ［美］纽豪斯.最高的战争［M］.宁凡，译.北京：北京师范大学出版社，2007.

第三章
意想不到的挫折



ARJ21-700飞机静力试验共完成29项试验，包含5项全机试验及其他部件级试验。在全机试验中，用于采集数据的应变片数量达到上万片，实时监控应变数据，能够反映结构受力大小、传力特点和完整性，降低试验风险。在全机稳定俯仰2.5g静力试验中，机翼承受最大载荷时翼尖位移达到1.8米

2009年11月29日，ARJ21项目总指挥罗荣怀从上海赶到阎良，参加两天后进行的“ARJ21-700飞机全机稳定俯仰(2.5g)极限载荷静力试验”（简称2.5g试验）。如果试验顺利，受此项试验限制的24项试飞科目都将陆续展开，那么，2010年向全球首家客户交付飞机的承诺就会实现。

一年来，ARJ21-700飞机首飞后各项极限载荷试验都在按照计划有序地开展，101、102和103这三架用于试验试飞的试验机都已经转场到中国飞行试验研究院，专门为验证ARJ21-700飞机性能和操纵稳定性科目准备的104架试验机也将投入试飞。

“要知道，交付飞机，对于任何一家飞机制造商来说，这都是头等大事。”虽然冬季的关中平原，天空并不怎么透亮，但是想到项目进展得很顺利，罗荣怀的心情并没有受到天气的影响，“这场近百亿元的豪赌已经持续9年了，交付飞机的那一刻才意味着我们终于成功了，从此，ARJ21-700飞机再也不会被外界讽刺为‘这是一架没人要的飞机’。”

事实上，ARJ21-700飞机的交付对于中国民机人来说，意义则更为重要，这是实现梦想的一刻，是实现几代航空人期盼了半个世纪的梦想的一刻……

但是，在正式交付客户前，ARJ21-700飞机必须通过CAAC的适航审定，通过一系列严酷的试验与试飞的验证，以证明飞机符合《运输类飞机适航标准》。在此期间，无论是ARJ21-700飞机还是CAAC还要接受来自FAA的“影子审查”。所谓“影子审查”，是根据美国的法律法规，在与中国签署中美双方民用航空双边合作协议之前，要对CAAC的机构、体系、法律、规章、适航审定能力进行全面深入的评估。

从事民机研制的人都知道这样一句话：研制什么飞机听市场的，如何研制飞机却要听适航的。适航是适航性的简称，它并不是出于理论或者学术研究的需要，也不是出于设计、制造飞机的需要，而是出于为维护公众利益、维护公众安全立法的需要。即使适航条款是保证飞机安全性的最低标准，但是，世界航空领域的每一名飞机设计师都不敢小觑适航条款的重要性，以及航空产品获得型号合格证的艰难程度。

ARJ21-700飞机是严格按照CCAR25-R3进行设计的新型支线客机，国内还没有哪一架飞机是按照这样严酷的适航标准进行设计与验证的，因此，ARJ21-700飞机安全性标准比国内设计的其他飞机都要高，同时适航取证的难度也更充满挑战。

只有通过了这一系列的考核之后，ARJ21-700飞机才能正式成为中国第一款具备航线运营资质的喷气式支线客机。大部分条款的验证是填补国内技术空白的，有些试验与试飞甚至在国际上也尚属首例，更有些试验和试飞差点让中国商飞公司失去ARJ21-700飞机……

参加ARJ21项目的每一个人都在思考着同一个问题：验证一架飞机到底有多难？

这是个经典试验，但我们却失败了

当飞机在空中穿越气流的时候，巨大的机翼在不断变化的外力作用下，就像一把被反复弯折的刀片，那么，飞机机翼所能承受外力的极限到底多

大？机翼会在反复的弯折中折断吗？飞机设计师们把飞机设计得足够结实吗？还是过于结实而牺牲了一些商载运营的能力呢……

所有你能想到的问题，当然还有那些你根本想不到的问题，都要在ARJ21-700飞机强度试验中得到验证，而且是要严格按照CCAR25部的要求进行验证。

创建于1965年4月12日的中国飞机强度研究所，具有代表国家对新研制和改型飞机结构强度进行鉴定和验证试验的职能，中国新研制飞机的每一张首飞通行证都是从这里发出的。

每一名走进456厂房的人首先要了解的一个概念就是，什么是“飞机载荷”？

飞机在空中飞行时，作用在飞机结构内、上的力，例如：空气动力、发动机推力、外部撞击力（飞鸟、冰雹、砂石、碎片等），内部惯性力、阻尼力、弹性力、压力传递等都被称为“飞机载荷”。而温度、湿度、气压、雷电、冰雹、雨淋、雪封、霜冻、风沙、盐雾、紫外线辐射、工业污染等，这些飞机所在的机场以及空中飞行区域的气候环境也会对飞机的结构强度和性能产生影响。当载荷与环境作用在飞机上时，就会引起飞机结构的变形并产生结构的损伤，例如：裂纹、脱胶、磨蚀、缺陷扩展、腐蚀老化、运动卡滞、破损、振动，甚至是破坏、失去承载能力，一旦发生这些情况，飞机将面临巨大风险。

“通过模拟飞机真实使用的载荷、环境条件，来考核飞机结构的响应是否符合适航规定的安全标准和设计要求，这就是飞机强度试验的任务，而这些试验包括：强度试飞、静力试验、疲劳/损伤容限试验、离散源撞击试验（鸟撞）、应急着陆试验及水上迫降试验等。”时任中国飞机强度研究所副所长强宝平介绍说：“只有经过了这里的考验，才能证明设计出来的飞机是真正结实的。在飞机运营情况下，从结构强度上是安全的，保障飞机出现某些问题后，还是可以平稳落地。结构至少不会出现舱门掉了、机体出现窟窿等这样的问题，即使飞机迫降，例如起落架无法放下，机腹着地迫降的时候，也不会把更大的载荷转移到乘客的座椅上，造成对乘客的伤害；就算是在水上迫降，飞机依然能够保证平稳降落，并且保证飞机能够保持足够的飘浮时间，在飞机沉下去之前保证所有的乘客都能安全撤离。”

作为搞了一辈子强度研究的人，强宝平经常会风趣地说：“知道吗，我的很多同学是从事飞机设计的，而我的工作则是千方百计地，把他们辛辛苦苦设计出来的飞机‘弄坏’。要知道，如果他们设计的飞机在达到极限载荷的时候还没有坏，而在限制载荷的时候反而坏了，那么，这就证明他们设

计的不是一架好飞机。”

在搞强度的人眼里，一架好的飞机必须足够结实而又不能过于结实，过于结识则意味着设计上过于保守，说明对一些性能还没有掌握到游刃有余的状态。如何恰到好处地把握这个度，这对于飞机设计师来说的确是个不小的挑战。

时任上海飞机设计研究院强度部部长朱广荣当时并不知道，作为自己的小师弟，强宝平接下来要“弄坏”的就是自己的飞机——ARJ21-700飞机01架静力试验机。

时间回到2009年12月1日15时。

坐落在阎良中国飞行试验研究院内的456机库的大门慢慢打开，露出了“吊在”龙门架上的ARJ21-700飞机01架静力试验机，在之后的7个月里，456机库成为中国商用航空领域最为关注的焦点，甚至彻底颠覆了航空界对于大型飞机静强度设计和全机静力试验技术——这个航空领域最为经典试验的理解。

而在当时，一切都还是那么的平静。

著名的456机库是中航工业飞机强度研究所设在中航工业飞行试验研究院里的一个专门进行强度试验的机库，我国很多著名航空器的强度试验就是在这个机库里进行的，ARJ21-700飞机首飞前的准飞证也是从这里发出。

就像往常一样，试验人员做着2.5g试验前的准备，因为这项试验是FAA“影子审查”选择的重要现场目击试验，所以，无论是作为申请人的中国商飞公司还是局方的CAAC都显得格外紧张。

“吊在”龙门架上的ARJ21-700飞机被无数的钢索吊着，身上贴满了看上去像布袋一样的胶布带，它们通过杠杆与加载作动筒相连，用于模拟作用在飞机上的载荷，用于测量应力的应变片密密麻麻地贴在机体结构上，它们与数据采集装置一起给出应变、应力数据以及随载荷变化的曲线，供设计人员试验分析使用，钢索上还垂挂着一块块的配重块，01架静力试验机看上去有点像是在受“酷刑”的感觉。

中国飞机强度研究所ARJ21项目副总设计师唐吉运个子瘦高，身体单薄得一点都不像是搞强度的人，他介绍说：“试验前，我们要先将气动力分布载荷及惯性力分布载荷通过16000多块胶布带准确地粘贴在ARJ21-700飞机的结构表面上，这些点都是根据真实载荷情况，通过设计、计算从而在飞机上进行准确定位的，每个胶布里又都穿有铝棒，通过几级杠杆系统将

胶布带载荷集中到上百个加载通道来实施机械加载，各加载通道采用带测力计的电液伺服作动筒连接到承力架上或承力地坪上，并由计算机按给定的载荷程序，自动协调、闭环控制、分级施加机械载荷到限制载荷及极限载荷。”

由于“全机稳定俯仰(2.5g)极限载荷静力试验”主要考核ARJ21-700飞机机身、机翼、尾翼（包括平尾和垂尾）承受垂直弯曲载荷的能力，所以在这些区域还特意加装了视频监控设备，这也是在强度试验中首次采用视频监测方法。而隔离试验人员与试验区的一段铁格栅则是为了防止试验加载过程中，试验件因为结构破坏导致的零件或者异物飞出伤人。

“冬冷夏热”的456机库此时有些阴冷，ARJ21-700静力试验机机身上缠绕的应变测量线，就像“胡须”一样长长地垂下来。看着即将接受“酷刑”考验的静力试验机，朱广荣和飞机设计师郭伟毅心里担心的并不是2.5g试验能否成功，而是担心这架静力试验机能不能撑到最后一项试验的结束。

“你知道，受研制经费的限制，我们只有一架静力试验机，而我们需要进行29项静力试验，其中仅全机静力试验这一项，就包括四个情况的极限载荷试验，这给整个试验规划带来了极大的难度。”朱广荣介绍说，“2.5g试验已经是我们进行的第三项极限载荷试验了，也是第一项考核全机结构的极限高载试验，完成这项试验之后，01架静力试验机还要完成最后一项检验机翼承扭、中机身承剪以及中后机身局部承弯能力的‘最大垂直力着陆情况静力试验’。”

“总之，我们必须对试验的情况充分判断，合理地安排试验的次序，才能保证这一架静力试验机能将所有的四个情况极限载荷试验全部承担下来。”在试验前，郭伟毅操心的可不只是载荷，他一边调试着服务器一边说，“最关键的是，我们不能在任何一次试验中失去这架静力试验机，因为我们只有一架。”

事实上，对于航空界的这个经典试验，国外有一种理论，认为一架静力试验机是不需要也不应该承担这么多的极限载荷静力试验的，多数情况下只需做到限制载荷，通过获得的数据与有限元分析进行比较，以获得极限载荷试验的结果。

“但是，中国民用航空局（CAAC）要求我们必须做到极限载荷，针对每一种工况都要加载到100%。”朱广荣说，“因为，我们是新的申请人，ARJ21-700飞机也是新的飞机，与成熟的飞机制造商相比，我们没有累积的工程数据，所以，我们必须要用试验验证的方式向局方表明我们的计算与分析能力。”

在2008年3月5日进行的2.5g限制载荷试验时，01架静力试验机在45%~50%的加载过程中，后机身与中后机身对接处壁板出现了预期的剪切失稳波纹，这部分结构进入了“张力场状态”。对于从事强度计算的人来说，“张力场状态”是一种如雷贯耳的现象，这也是郭伟毅第一次在全机试验中遇到这种现象：“飞机蒙皮承受拉剪或者压剪载荷联合作用时，当剪切载荷达到临界载荷以后，蒙皮就会起皱,此时蒙皮发生了剪切失稳,但蒙皮仍然能继续承载，此时部分蒙皮载荷以斜向拉伸的形式传递，我们将这种受力形式的变化称为进入‘半张力场状态’，在商用飞机设计上是允许机身蒙皮提前失稳的，以减轻重量提高经济性，在当时飞机蒙皮皱的状态，的确让许多人感觉试验根本做不下去了。”

朱广荣介绍说：“全世界没有任何一架飞机在全机静力试验中，所有的工况全部做到了100%的极限载荷，也没有哪一架飞机像ARJ21-700飞机01架静力试验机这样，承担了如此繁重而严酷的试验任务。”

每增加一个试验点，每增加一个试验内容，除了经费和时间上的付出，更重要的是充满了不确定的风险，毕竟，再精确的计算也会有意想不到的因素，在大型综合试验中，挑战与考验无时无刻不在检验着飞机设计师的智慧与能力。

2.5g是飞机在俯冲和突然拉起时产生的最大载荷，一般商用飞机在航线上飞行的时候是不会飞2.5g载荷，但是，适航条款规定必须承受2.5g的载荷，如果试验失败了，则意味着ARJ21-700飞机在弯的强度载荷上是不合格的，不能进行商业运营。

实时监控中心位于试验现场一角的一个小房间里，试验开始后，朱广荣带领着设计人员将实时传输过来的测量结果与计算结果进行对比。通过这些实时的监测数据，不但可以现场确认机体结构在试验过程中的应变位移与计算结果是否一致，还可以及时通过对比发现试验是否出现异常，避免在试验中出现危险情况。

计算机屏幕上显示着黑色、红色、蓝色和黄色四条曲线，郭伟毅解释说：“黑线是数据许用值；红线是理论计算值；黄线是理论推算值；蓝线是试验获得的实际数据。试验一边进行，我们一边在实时推测，载荷加到40%的时候，我们就推测加到67%时的情况，甚至推测加到100%时飞机会不会有损坏，提前预测，如果推算出试验会有损坏，那我们就要马上停下来。”

当试验加载到83%的时候，电脑屏幕上显示中后机身连接处的应力曲线忽然出现了跳跃式的波动，曲线开始分离，但是这个细节并没有引起设计人员的关注。

“在当时，我们认为这是应变片质量的问题，这些应变片是2007年贴的，部分已经出现了破损，甚至在做之前的机身充压试验时，还出现了应变片接反的情况，导致试验数据与结论截然相反，这给我们进行数据判断带来了极大的困难。”赵俊峰放大着试验数据说，“另外，龙骨梁缘条设计得非常窄，导致应变片很难贴合试验件，所以，当图像出现波动与分离的时候，我们并没有怀疑是自己的计算出了问题，而是判断，这是应变片质量的问题……”

但是，大事发生前总是会有预兆的，就是这个判断让很多人追悔不已！

飞机一沉，所有人都蒙了

2009年12月1日18时30分：

“加载至85%”……456厂房了异常安静，对于静力试验来说，任何声音都会令人紧张。“就像我之前所说的，如果在加高载荷之前就出现了金属的咔咔声，或者铆钉断裂的声音，则意味着或许飞机的结构强度存在问题，设计人员就要揪心去决策试验是否还要继续下去。”强宝平介绍说，“但是，如果在整个试验中，一点铆钉断裂的声音都听不到，那就意味着这个飞机设计得太保守，牺牲了太多的商载经济性。”

航空界的每一项试验都以不同的方式令人揪心，对于飞机设计师来说，他们追求的永远是达到临界状态，永远是寻找飞机安全性与经济性的平衡点，这些都被看作是他们的核心能力。在飞机设计阶段，任何一个细小的数据都将左右这架飞机的市场销售情况，都将影响航空公司的效益，这就是这个行业的挑战所在,也是充满无限魅力的原因。

回到2.5g试验现场，随着载荷的不断增加，01架静力试验机的各个部位都绷得紧紧的，机翼承受载荷时翼尖位移几乎达到1.8米，飞机不断传来金属的咔咔声，时而又夹杂着“嘭嘭”的闷响。

“我的心越来越紧张，这是我们国家第一次按照CCAR25的标准来进行这项试验，试验的紧张程度超出了我的想象，我不知道这是不是正常的情况……”罗荣怀看着显示器上的数字，此时飞机已经加载到了85%。

载荷在持续的增加着，忽然间，中后机身段先是传来金属断裂的声音，紧接着龙骨梁的位置“嘭”的一声巨响，安静的456机库里就像响彻了一声炸雷，随后，紧绷在01架静力试验机上的钢索全部自动卸载，飞机向下一沉，上翘接近1.8米的机翼也瞬间回到了原位……

郭伟毅盯着显示器上的数字：87%，监视器屏幕上的曲线已经呈90度的向

上跳跃，这是设计人员最不愿意看见的曲线，成功的试验不是这样的，试验中止了。

“我的第一反应是试验设备出了问题，没错，一定是载荷加大了，我当时在脑子里快速地回忆着我们做过的所有计算，所有的有限元模型，但那一刻，我什么也想不起来，感觉似乎连外界的声音都听不见了。”时任上海飞机设计研究院强度部副部长李凯说，“我只看见，CAAC的审查代表与FAA驻上海办事处负责人弗兰克（Frank）头戴安全帽陆续地进入试验区，他们围在后机身的位置对01架机进行目测检查，其余所有人都不允许接近试验机。”

那一天，87%成为最刺眼的数字，即使过去很多年，这个数字依然定格在所有参加这项试验的人心里。

等到CAAC与FAA的审查代表检查完飞机，罗荣怀等试验人员才被获准进入现场查看01架静力试验机的状态。“当时我的心情很沉重，不知道试验机损伤到什么程度，很多人跟在我旁边，他们不断地指给我看，从外部看，中机身下腹部已经严重地变形了。”

罗荣怀爬上高悬在半空中的01架静力试验机，他要从客舱走到后面的货舱，然后下到后货舱才能查看清楚飞机的变形程度。一名上海飞机制造厂的工人刚刚将地板打开，只是向下看了一眼，就赶紧将地板盖上，然后坐在地板上，拦着所有人不让下去，他的眼睛里流着眼泪，自言自语地说：“不能下去，不能下去，出大事了……”

罗荣怀甚至能感受到工人的心跳声，他意识到试验机一定损伤得很严重，此时所有人都在看着他，等着他决策，他必须尽快梳理出解决问题的思路，必须面对最坏的结果……后货舱的景象的确令他吃惊，“龙骨梁延伸段与中后机身连接处上缘条已经失稳破坏，下缘条与壁板连接处的构件已经断裂。”罗荣怀说，“我们试验机的喷漆是草绿色的，断裂处已经露出了金属的银白色，在密密麻麻的胶布带和测量线中，这些银白色的金属显得特别刺眼，有些地方的铆钉也脱落了……”

“当时，几乎所有人都怀疑是我们的试验载荷加大了，因为这是一个航空界的经典试验，在军机上，我们做过很多次这样的试验。”强宝平介绍说，“但糟糕的是，我们的试验监控录像出了问题，龙骨梁失稳的瞬间根本没有记录上，这更增加了设计人员对我们的质疑，也体现了我们对试验设备检查的疏忽。”

“事实上，当看到静力试验机的破坏形式的时候，我就基本上知道问题大致是出在什么地方，也知道接下来将要面临的质疑与挑战。”朱广荣介绍

说："这是一场危机，是我们从没遇到的信任危机，一旦CAAC和FAA质疑我们使用的强度校核计算方法有问题，那么，我们之前所有做过的静力试验结果都将是无效的，ARJ21-700飞机是否是结实就将受到质疑，这种质疑对ARJ21项目来说将是颠覆性的，因为，整架ARJ21-700飞机上的强度计算我们都是采用的这种方法……"

"强度校核计算方法虽然是国际上通用的方法，公式虽然是通用的，但是，参数的选取是否正确就是我们的问题，所有的设计人员都承受了巨大的压力。"郭伟毅表示，"那一天，我们强度人的世界面临着坍塌的危险，我们必须找到试验中止的原因，既是为了ARJ21-700飞机，也是为了强度人的声誉与中国航空界在国际领域的地位，要知道，这可是航空界的一项经典试验。"

试验现场被封锁起来等待更进一步的检查，设计人员都在急切地等着拿到试验数据，确定龙骨梁失稳的原因。

看着30多名沮丧的设计人员，朱广荣决定先带他们去吃饭。在阎良的一家小店里，朱广荣端着酒，他本想安慰这些年轻的设计人员，可是看着已经流泪的弟兄们，他自己竟也失声恸哭。"那酒的滋味，我至今还记得，苦！异常的苦！为这项试验我们已经准备了两个多月，可却是现在这个结果，不仅影响了交付的进度，我们的声誉也受到了影响，更重要的是，我们将ARJ21项目拖入了困境。"朱广荣已经感觉到将要接受的挑战，"这是我们强度人自己酿下的苦酒，再苦也要喝下去！"

那一晚上，一夜未眠的不仅是设计人员。ARJ21项目承载着几代航空人的梦想，代表着国家的意志，上至国家领导人，下至社会各界都充满了期待与关注，多名国家领导人也都亲临中国商飞公司ARJ21-700飞机的研制现场，对项目的研制都做出过重要的指示。现在试验中止了，如何调查试验中止的原因，如何重启试验，如何获得CAAC与FAA审查代表的信任，如何获得市场的信任，如何保证承诺交付航空公司的时间……一系列棘手的问题都摆在了中国商飞公司高层管理者的面前。

"2.5g试验中止后，几个核心的问题是我们难以回避的，当时想的就是如何快速地找到问题，快速地恢复试验。"罗荣怀介绍说："首先，24项与此相关的试飞科目都无法开展，尤其是颤振与失速试飞，一个确定飞机的最大速度，一个确定飞机最小速度，这两项试验被看作是试飞的基石，无法拓展试飞包线，试飞进度一定会受到拖延。其次，损坏的试验机能够修理吗？需要投入新的试验机吗？即使试验机能够修好，是否还能够代表ARJ21-700飞机的构型继续承担后续的试验任务？最后，现在我们有4架飞机正在试飞，未来交付航空公司的飞机也正在生产线上，如果后机身的构型需要重新设计，那么，我现在所有的这些飞机都需要进行同步更改，

我是不是该让生产线现在就停下来……”

同样面临困境的还有CAAC的审查代表们。

事实上，FAA“影子审查”中最关键的一项就是对CAAC的每一名审查代表的适航审定能力进行评估，在FAA选定的每一次现场目击项目中，FAA都会像“影子”一样跟在CAAC审查代表的后面，对他们在审查过程中的所有活动和表现出的适航审定能力做出评估，很多时候，他们还会出一些题目来考一考CAAC的审查代表，每一项评估结果都会作为中美两国是否能够签订适航双边协定的关键因素。这种“站在背后的监督”给每一名CAAC的审查代表都带来了压力，也导致他们在进行审定的时候非常谨慎甚至有些保守，因为没有人愿意在自己的专业上被FAA亮红灯，更没有人愿意成为FAA中止“影子审查”的借口。

事实上，拓展中美两国在CCAR25部运输类飞机上的适航双边协议对中国航空业的发展将起到非常积极的作用，这意味着CAAC获得了与FAA同等的适航审定能力，意味着ARJ21-700飞机以及C919大型客机在获得CAAC型号合格证的基础上能够获得FAA的型号合格证，这为中国商用飞机打开了通向世界商用飞机市场的大门。

就在2.5g试验中止前的一个月，在美国总统奥巴马访华期间，中国民用航空局副局长李健与美国联邦航空局国际事务代理助理局长雷蒙德在北京签署了《中国民用航空局与美国联邦航空局民用航空技术合作协议备忘录附件》，标志着FAA正式启动ARJ21-700飞机的“影子审查”工作又迈出了关键性的一步。

时任中国商飞公司适航管理部部长赵越让说：“2.5g试验中止的时候恰恰是FAA‘影子审查’工作即将进入召开‘开球会’，全面进入熟悉技术的阶段，这是一个非常关键的时期，也是个非常敏感的时期。实际上，中方一直在推动‘开球会’的召开，所以，CAAC的每一个人都非常紧张。而对于申请人来说，一时间，‘适航’‘影子审查’成为阎良现场的关键词。但是，在当时，大多数的项目参与者还并不知道‘适航’具体是什么，又将带来怎样的挑战。”

试验中止的第二天，时任ARJ21-700飞机审查组组长吴坚在与ARJ21-700飞机总设计师陈勇沟通后，编写并签署了中止ARJ21-700飞机研制试飞活动的型号合格审定信函《关于严格控制ARJ21-700型飞机研制试飞特许飞行的紧急通知》（TCL-243），明确要求在设计部门提供的评估报告未得到审查组批准前，不能进行飞行活动。随后，中国民用航空局李健副局长致电审查组组长吴坚，要求暂时收回已经颁发的ARJ21-700飞机的特许飞行证。

101、102架飞机的特许飞行证被收回，后续飞行计划等待总设计师系统提交对试飞飞机的操作程序和飞行限制条件的工程评估报告，并获得适航当局认可才能重新获得特许飞行证。

鉴于2.5g试验中止原因尚未明确，损伤部位极有可能进行设计更改，ARJ21-700飞机现场指挥部也发出指令要求上海飞机制造公司通知相关部件厂对714框、龙骨梁等部件的装配工作暂停……

事实上，ARJ21项目陷入的困境还远远不止于此。

我的耳边全是质疑的声音

“你们是否进行了龙骨梁侧向的失稳强度校核？”专家组组长、歼10战斗机强度副总设计师黎观生刚一提出这个问题，郭伟毅几乎是拍着桌子说：不可能！我们怎么可能犯这样的低级错误！

“但事实上，我们的确没有对龙骨梁侧向的失稳强度进行校核,‘漏算’，成为造成2.5g试验中止的核心原因……”朱广荣介绍说，“要知道，这并非一个技术难题，只要当时对龙骨梁的强度计算一下就会发现满足不了设计要求，不会有人在这样的设计图纸上签字。但是，由于设计人员的频繁变动，龙骨梁的设计师在一年内就更换了三名，设计工作也从中国第一飞机设计研究院移交到上海飞机设计研究院，虽然过程中我们进行过8次质量复查，但是，没有人真正地从源头来审核这份文件……”

就在调查组进行调查期间，2.5g试验中止的消息还是被人发布到了互联网上，很快就在互联网上传播并且不断发酵。

那段时间，无论是互联网上还有航空业界都出现了一些过激的舆论，朱广荣和所有强度专业的飞机设计师们一时间成了众矢之的，挖苦、嘲笑、指责还有接连不断的质疑，所有这些都深深地刺痛着飞机设计师们。

年轻的设计人员在向专家组解释问题的时候，有的专家会直截了当地说，“不要跟我说这么多，你只需要告诉我你得出的结论，我会自己进行判断。”有的年轻设计人员会当场委屈得落泪，这种不被信任的感受伤害着年轻人的自尊，情绪上的冲突在那段时间非常突出。

“我的耳边全是质疑的声音，有人甚至说，这是中国航空史上从未有过的失败。”朱广荣介绍说，“在试验期间，我们受到之前应变片质量问题的误导，认为在加载到85%时出现的波动是应变片稳定性的问题，事后我们对6000多片应变片的数据进行分析，发现整个剖面在同一时刻都发生了波动，这说明我们当时对数据的分析缺少经验，没有果断地中止试验。其

实，从出现异常到中止试验，我们是有时间进行决策的，虽然这并不是一个技术难题，但我们的经验不足。”

2009年12月，几乎成了强度人的“灾难月”，遭遇失败与困境的还有ARJ21-700的飞机鸟撞试验。

2009年12月30日，在中航工业飞机强度研究所103试验厂房里进行了ARJ21-700飞机的第一次机头鸟撞研发试验，一只4磅重的鸡被装在一个专业的试验设备中发射出去，用以模拟飞行中的鸟类撞击ARJ21-700飞机的机头。

“试验结果简直糟糕透了，与我们计算分析的结果大相径庭，在高速摄影机的回放下，我们看见机头直接被打了一个大洞，如果这是在真实的飞行中，我想飞行员一定被这只‘鸟’谋杀了。”李凯介绍说，“我们修正了模型后又做了一次试验，可是，机头还是被打了一个洞，给外界的印象是，我们计算出来的机头强度是满足要求的，而且还有一定的裕度，但是试验的结果每次都失败了，机头一打一个洞，这可是非常要命的事，质疑的核心就是我们强度计算的能力！”

鸟撞是飞机经常遇到的一种离散元损伤，在中国由于鸟撞造成的事故约占航空事故总数的三分之一；在美国，由于鸟撞造成的经济损失每年高达6亿美元，所以，鸟撞越来越受到适航当局的关注。

CCAR25部中有两个条款对鸟撞验证进行了规定，要求飞机所有可能遭受鸟撞的部位必须满足强度的要求，在遭遇撞击后仍能安全地完成本次飞行。但是，由于这是国内首次开展商用飞机鸟撞适航验证，所以，没有任何能够借鉴的经验与流程，包括对适航条款的理解、所需的验证手段、采用的分析方法、试验如何开展、评判标准如何制定等都需要设计人员自己探索。

103试验厂房成为ARJ21-700飞机所有试验厂房中最血腥的地方，大概有1000多只鸡“牺牲”在这里。为了要真实地模拟飞行中的鸟类，试验规定不能使用冻鸡，必须是在鸡的血液还没有凝固的情况下进行试验。

李凯一边摘着试验件上沾着的鸡毛一边一筹莫展地说：“由于国内飞机结构鸟撞动力学仿真分析起步较晚，目前已有的计算分析大多局限于简单板结构，而对于复杂结构系统完全没有相关经验可以借鉴。”

“ARJ21-700飞机的结构形式非常复杂、影响鸟撞动力学分析结果的因素也非常多，包括不同的结构形式、不同材料、不同连接形式、接触参数以及失效准则等等。这些因素相互作用、互相影响使鸟撞动力学仿真分析异

常复杂。”作为这项试验的负责人，上海飞机设计研究院强度部宋春艳被这些“鸟”折磨了很长时间。

朱广荣感觉自己的强度世界在渐渐地坍塌着，CAAC不断地提出质疑：你们的理论分析认为没有问题，那为什么在87%的时候就失稳了？同样的问题是否还会出现，ARJ21-700飞机究竟能不能满足强度的要求？

“从对我们强度计算能力的质疑到对ARJ21-700飞机强度安全性的质疑；从质疑ARJ21-700飞机的结构设计，发展到对ARJ21项目，对中国商用飞机的研发能力的质疑……”上海飞机设计研究院院长郭博智介绍说，“我担心我的设计师们会承受不了这种压力，解决问题的前提是必须为设计人员释放压力。”

在很多人的记忆中，郭伟毅在那段时间几乎变成了“野人”，头发长得几乎认不出来他，整个12月他几乎没有离开过宾馆一步。“所有的时间都在分析试验数据，CAAC已经停飞了所有的试飞科目，我们需要写出大量的分析报告来说服CAAC允许101与102架飞机继续进行试飞，上海飞机制造厂还要针对我们提供的依据对试验机进行检查……”郭伟毅说，“每一份分析报告都需要经过专家组的评审，不断地回答各个方面发来的问题，强度部120人，几乎全都铺在了阎良现场，活干得很苦，但是没有效果。”

那段时间，年轻的设计师们即使在工作的间歇电脑上放的也是空难纪录片……

整个12月，试验现场显得异常混乱，大部分的工作并行展开，设计人员找不到试验机的基准点，无法评估试验机的变形程度；中国商飞公司总质量孙善福带着质量部门对试验机的制造质量进行了一轮又一轮的检查；唐吉运带领试验人员更换了一批又一批的应变片……但是，所有人都感觉没有一个成熟的流程，下一步该做什么成为每个人心中的疑问。

12月29日，调查委员会终于结束了第一轮的调查，并且形成了初步的结论：ARJ21-700飞机全机稳定俯仰2.5g极限载荷试验中止是由于中后机身下部连接部位龙骨梁714框后延伸段结构设计的刚度和强度不够，且未做侧向失稳强度校核；龙骨梁延伸段与后机身长桁和蒙皮连接件选用错误。

CAAC也随后召开了适航审查会议，基本同意龙骨梁设计更改方案和静力试验机的修复方案。一切看上去似乎顺利了，但是，这一切并没有得到FAA的认可，随后，中美适航领域在ARJ21项目上的博弈与合作正式拉开了帷幕，17名FAA“影子审查员”对所挑选的54项现场目击项目的审查结果将直接决定着ARJ21-700飞机获得中美适航证的速度与进入市场的时间。

从此，试验成功与否的标准，不再仅仅取决于申请人在技术层面的表达，更多的还体现为CAAC在适航领域所体现出的能力与体系建设的程度，某种意义上，这不再是对ARJ21项目的一次大考，而是对CAAC的一次终极考核。

所有人都问我什么时候重新生产一架试验机

2010年2月1日，FAA正式启动ARJ21-700飞机的“影子审查”工作，并将2.5g试验作为第一个“影子审查”项目。

在第一次的CAAC与FAA专题审查会上，FAA提出了15个问题：

申请人必须对龙骨梁修复后，是否能够代表取证构型做出解释；

申请人需要对扣重报告进行重新分析，提供更加有说服力的分析和证据；

试验前，申请人的强度计算未能计算出龙骨梁后延伸段的失稳破坏情况，那么，申请人必须解释关于试验前的强度分析以及是如何在试验前获得CAAC批准的；

申请人在龙骨梁延伸段的紧固件混用违反了设计原则，类似情况还有没有……

“几乎每一个问题都让我们难以回答，很多是我们疏漏的地方，个别的问题也直接质疑了CAAC的审定能力，这让CAAC变得非常谨慎与保守。”时任上海飞机设计研究院副院长谢灿军介绍说，“由于是第一次与FAA进行交流，我们并不掌握FAA关心的问题是什么，他们的思路是什么，再加上语言表达产生的歧义，FAA并不认同我们对于一些问题的回答，攻关工作陷入了僵局，CAAC迫于FAA‘影子审查’的压力，要求关闭15个问题之后才能重启2.5g试验。”

那是项目的冰点时刻，就如冬季的寒风一样刺骨，随后，作为副院长的谢灿军开始履行副总师的职责，任务只有一个：打破坚冰，将项目带出困境。

“事实上，FAA的核心问题只有两个。”谢灿军介绍说，“第一个问题是，01架静力试验机在经受了87%的高载荷之后，机身壁板大面积失稳，机翼与尾翼也有多处失稳，01架试验机的结构还能不能继续完成后续的试验；第二个问题是，FAA对试验中机翼加载方式提出疑问，认为我们使用的垂直于地面的加载方式对于机翼上壁板的考核没有达到。”

“几乎所有CAAC的审查代表见到我问的第一句话就是‘你什么时候投入一架新的静力试验机用于完成后续的试验？’就连我们总设计师系统内部的意见也并不统一，但是，我的态度非常明确，我们会用科学的方法来证明，01架试验机能够代表构型承当后续所有的试验。”在2.5g试验最艰难的时候，郭博智被任命为ARJ21项目的副总指挥，他介绍说，“投入一架全新的静力试验机固然可以省去很多技术评估的工作，也会降低试验的风险，但是，我们必须考虑ARJ21项目的进度、试验的成本、制造的周期以及材料的采购种种这些限制问题，还有如何向国家交代，而最关键的是，我们的设计人员是有能力对01架静力试验机能够代表构型继续完成后续试验做出科学的证明。”

在对FAA一筹莫展的时候，谢灿军亲自编制了《确定ARJ21-700飞机01架机继续用于2.5g试验的验证计划》，这份验证思路与方法不仅为大型试验失败后如何重启试验规划了路线图，更为ARJ21-700飞机如何进行适航审定试验试飞探索了流程与方法，参与ARJ21项目的很多人都会说，我们是从那时候知道，如何去给局方“讲好一个故事”。

验证思路是有了，但是质疑并没有消除。“CAAC对我们的信任度降得非常低，几乎都必须要用试验验证的方式来证明我们的计算分析。”郭伟毅介绍说，“迫于CAAC的压力，我们做了很多的研发试验，有些试验的逻辑甚至是相反的。”

“静力试验的目的除了要表明结构能够满足极限载荷要求,还要能够表明计算分析方法的可靠性，为了证明我们计算分析的准确性，CAAC要求我们对2.5g试验进行故障复现，试验结果要与我们的计算结果完全吻合，相当于要重新进行一次限制载荷的试验，而且试验条件非常苛刻，必须对试验的细节做出承诺。”朱广荣介绍说，“在争论激烈的时候，CAAC的审查代表甚至会说，如果是波音公司或者空客公司只用分析的方法证明是可以的，但是你们就不行，因为ARJ21-700飞机是你们的第一架飞机，你们没有经验，CAAC代表的是公众利益，没有义务为你们的成熟来承担风险，即使你所有的计算分析都是准确的，也必须用工程的方法来证明。”

那个时候，申请人经常会收到吴坚的邮件，邮件里的内容都是用特大号的字体，还被标成了醒目的红色，强调着CAAC的态度。老专家一看到这样的邮件就会血压升高，在很多人的印象中，遇到问题的时候，吴坚总是会用目光逼视着申请人说，“问题再不解决，你们就跳楼吧！”甚至，他会直接追问总设计师陈勇，“你怎么还没跳楼？”最初，这些话的确给申请人造成了很大的心理压力，毕竟这代表了CAAC高层的态度。

在适航审定的过程中，审查代表通常是不干涉申请人用于进行技术摸底的研发试验，但由于FAA非常关注申请人的研发试验，所以，CAAC也开始

对申请人的研发试验进行监控。

“CAAC监管得非常严格，不仅要求我们做旧构型龙骨梁的故障复现试验，还要进行验证新构型龙骨梁承载能力的研发试验。”朱广荣介绍说，“当时的试验已经做得非常细了，国内没有哪个试验会做到这种程度，所有需要检验的区域都通过研发试验予以检验了。”

上海飞机设计研究院几乎将所有的海外专家都派到了阎良，进行报告的英文翻译工作。

CAAC与FAA有着不同的审定风格，CAAC基于信任，而FAA则注重程序，所以非常关注申请人审定工作的计划性。为了能够在承诺的时间进行新的2.5g试验，2010年的大年初一，郭博智就坐在了456机库，开始协调各种试验件的准备工作。

“我们只要看见设计人员的应变片贴片图就非常头疼，几乎一星期就是一份贴片图，一贴就是好几百片，有时还会不断地反复。”唐吉运介绍说，“测量点多，测量精度高成为当时工作的一大难点，01架静力试验机有20000片应变片，2.5g试验需要测量其中的6300多片，而每片连接12个焊点，任何一个焊点没有焊接牢都会影响测量数据，而有些地方的应变片又非常难贴。”

在当时，456机库成了航空业界最关注的地方，几乎ARJ21项目的高层管理者每天都集中在这里处理各种问题。唐吉运说，“或许你不会相信，我参与ARJ21项目已经8年了，还是第一次见到这个项目的总设计师，这段时间，我们对技术问题进行了很多的探索，所以说，失败并不都是坏事，关键是我们如何站起来。”

大量拥有丰富经验的海外专家都参与了进来，他们大多是在波音公司或者空客公司有着丰富的型号经验，同时也了解如何与FAA打交道，他们不但解决了很多现实的技术问题，更为年轻的飞机设计师打开了国际视野。

“设计中任何一个疏忽都会导致试验的失败，这在新飞机项目中在所难免，所以，作为飞机设计师来说，最重要的就是专注，不放过任何一个小细节，哪怕是最后的细节。”中国商飞公司特聘专家朱务学介绍说，“其实，2.5g试验虽然是一个航空界的经典试验，但也是难度较大的一项试验，即使是拥有丰富经验的波音和空客公司也曾在这项试验中损失惨重。例如，2006年2月，空客A380飞机在总部图卢兹进行2.5g试验时，机翼与两个发动机之间的部分就发生断裂，导致A380交付推迟了两年时间；2009年6月，波音787飞机在进行2.5g试验时中机身和机翼连接部位出现应力破坏问题，导致787飞机首飞时间再一次推迟，2.5g试验的凶险可见

一斑。”

2010年5月，在456机库里进行了旧龙骨梁部件研发试验，在加载到103%时系统卸载，试验准确地再现了旧龙骨梁破坏的模式：后延伸段上缘条在55%开始侧向失稳，之后在拉剪复合作用下，后延伸段下缘条与机身壁板连接的铆钉断裂，系统失去承载能力。

现场目击了整个试验过程后，CAAC审查代表袁晓峰说：“试验的成功表明申请人对2.5g试验失效故障分析是正确合理的。”

“我们终于用试验验证的方式证明了我们计算分析的能力。”朱广荣介绍说，“现在我们能够清楚地知道CAAC和FAA关心的问题是什么，他们的审定思路是什么，很多时候，我们也帮助CAAC在FAA面前挺起了腰杆。”

“如何通过技术来验证条款？条款所体现的安全理念与技术之间又是怎样的关系？条款又是如何检验技术的成熟度？”在郭伟毅看来，“所有这些认识都是我们通过2.5g试验与适航部门共同建立的。”

但是很多人同时也在思考另一个问题：CAAC的从严审查是否就能给FAA留下好的印象？

我们拿着美元按小时给美国专家付费咨询

2010年的春节刚过，郭博智与强宝平就再次站在ARJ21-700飞机01架静力试验机的龙门架前，现在是到了他们必须做出决策的时候。自从FAA正式启动ARJ21-700飞机“影子审查”以来，就一直对2.5g试验中翼面的加载方式提出异议。

不改变现有的试验加载方式，2.5g试验就进行不下去，至于如何去实现这种方式需要申请人自己寻找办法，CAAC几乎每次审查会议上都在追问这个问题。

“作为试验的实施单位，我们的挑战在于如何实施垂直于机翼的加载方式，因为，目前这套‘龙门架’在设计的时候只考虑了垂直地面的加载方式，改用垂直机翼的加载方式后，‘龙门架’不能满足试验的要求，如何对现有的‘龙门架’进行改造以满足试验的要求，这是我们要解决的问题，当时留给我们的时间已经很紧了。”强宝平介绍说，“但是改成垂直机翼的加载方式对上海飞机设计研究院的挑战远远要大于我们，甚至要承担更大的风险，因为，他们需要计算出垂直于机翼的载荷以及飞机飞行过程中机翼气动力与地面的夹角坐标，但是，至今全世界都没有手段能够测量到这个角度，所以我们要共同决策，是否接受挑战。”

“科学需要谨慎的态度，但更需要冒险的精神，如果船长的最高目标只是想保住自己的船，那么这艘船恐怕就永远也出不了港。”郭博智说，“对于我们飞机设计师来说，我们的职业精神就是要永远探索未知之境——即使会再次遭遇挫折，我们之所以敢于迎接挑战，原因在于我们向往未来的成功。”

在飞机设计过程中，飞行载荷分为惯性载荷和气动载荷，对于商用飞机机体结构，可以认为惯性载荷始终垂直于地面，但是，对于机翼来说，机翼气动力即我们日常所说的升力，却始终垂直于机翼的翼面。由于运输类飞机机翼具有较大的翼展，因此，在极限载荷情况下，机翼的变形程度往往很大，在2.5g试验时，机翼的变形尾翼达到了1.8米，此时机翼气动力依然要垂直变形后的翼面，并且与地面呈一定夹角，所以，国外在进行此项试验的时候都采用斜加载的方式，也就是垂直于机翼的加载方式。

“我们国内包括轰-6与运-8等大展弦比的飞机的机翼加载都采用传统外载垂直于地面的形式，其实并不是完全没有道理的。”朱广荣介绍说，“开始时，我们认为只要将试验加载点拉得足够高，就可以消除角度的误差，而且非常有信心能够说服FAA，直到FAA提醒我们没有考虑机翼水平力的误差，我们才意识到我们考虑得并不周全，对商用飞机的认识有了新的理解。”

方向虽然确定了，但是如何实施这项新的加载技术，如何进行计算，如何说服CAAC都成了最棘手的问题。

“我和陈勇到美国找专家进行咨询，拿着美元，按小时给这些专家付费咨询，那时候看着钱就这样花出去，的确心里很着急。”朱广荣说，“虽然一些有工程经验的专家提供了我们很多思路与建议，但是具体的工作还需要我们自己去做。我们原先的方法是从俄罗斯继承的，需要经过工程处理，而美国的这套方法更科学，更接近真实，虽然本质上并没有区别，但是，一旦参与了人工处理就会出现偏差，甚至是经验的成分更多。”

2010年6月20日，456机库里隆重地进行了采用斜加载方式的限制载荷试验，最终的试验结果表明，机翼变形与设计人员分析的结果完全一致。

“我们首次采用了国际上先进的垂直弦平面的加载技术、新的扣重方案、新的调零方法、支反力控制等新技术，并且得到了CAAC和FAA的认可与接受。”时任上海飞机设计研究院支线项目部部长李玲介绍说，“这不仅体现了我们商用飞机设计领域能力的提高，填补了国内的技术空白，也使我们的飞机设计师摆脱了单纯追求试验成功的束缚，而逐渐向世界先进飞机制造商的标准靠拢，我们也懂得了用科学、合理的方式证实飞机的安全性，这些收获都是从挫折中产生的。”

霍金在解释为什么人类会诞生时提到了一个理论——宇宙完美在于其不完美，如果没有不完美，那么就不可能会有奇点大爆炸诞生的宇宙，如果没有宇宙的不完美，那么宇宙就不会膨胀产生物质，进而产生一切。

“正如霍金所说，宇宙的一条基本定理就是，没有东西是完美的。”郭博智说，“所以，当下次有人指责你犯错时，你要告诉他，这可能是件好事，没有了‘不完美’就不会有我和你的存在。”

我心中最动听的声音是加载到100%时的欢呼声

“每一个人在世界上都要遭受挫折，有许多人反而在折断的地方长得最结实。”这是郭伟毅最喜欢的海明威的一句话。

2010年6月28日，郭伟毅将迎接自己职业生涯中最重要的一次试验，他穿上试验队专门为试验准备的红色试验服，那红色就像是这一代年轻设计师燃烧着的青春，也像是他们在商用飞机战场上征战的血色。他在脑海里一遍又一遍地想着这7个月来做过的所有试验，所有的计算模型，所有的细节，他问自己，还有没有让内心忐忑不安的地方……

“红色是中国传统的吉祥色，也是火的颜色。”罗荣怀说，“一位炼工师傅曾经告诉过我，铸钢有一道重要的工序叫‘淬火’，把滚烫的火锭放到寒水里急骤降温，人生的许多辉煌，不在于狂热地宣泄，而在于冷静地凝结，就像我们国家的民机事业，就像这些经历过无数挫折却又浴火重生的民机人。”

2010年6月28日15时。

456机库门口挤满了关注2.5g试验的人，这里再次成为中国航空界关注的焦点，CAAC与FAA的审查代表们也穿上了红色的试验服。

“虽然只是一个细节，但是代表了中美局方对我们所做工作的认同，在漫长的7个月中，我们用自己的实力获得了来自中美局方的信任，而这份信任对于ARJ21项目来说，是进入市场的基础，也为后续适航取证工作探索了路线图。”郭博智自信地说，“正是经历了这次挫折，我们的强度专业才踏上了进入‘自由王国’的征程。”

加载……检查，加载……检查……

30多名设计主管都在密切地监视着自己负责区域的应变片变化曲线，很多人对数据之美不禁惊呼：我之前从来没有看到过这么完美的曲线。

唐吉运没有坐在主席台上，他在密切地注视着自己新增加的视频监控设备，心里想着“这回可千万不要再出问题！”然而，就在加载到75%的时候，试验加载设备又自动卸载了……安静的试验现场瞬间变得喧嚣起来，有的人跌坐在椅子上，有的人脸上没了血色，有的人茫然不知所措，应急预案随即启动开始寻找原因……

罗荣怀走出闷热的456机库，一路上感觉很多人都在向他打招呼，但是他感觉自己一个人都认不出来，他看见一辆救护车停在不远处，护士们都站在车下待命，他想起来现场还有很多老专家，恐怕是强度所担心他们才准备了救护车。他点燃了一支烟，可是刚抽了一口就呛得眼泪直流，他抹了下眼泪，看到有人看着，就自我解嘲地说:“抽了几十年烟，还从没被烟呛到过呢。”

“是我要求‘退载’的！”半小时后，唐吉运报告了试验暂停的原因，“一个作动筒的行程设置上存在误差，如果不果断决策‘退载’，不但试验结果受影响，也会对试验机造成损伤，但毕竟是又给试验机加了一次高载，我们用了3个小时对试验机进行了一次复查，我感觉所有人都在看着我……”

2010年6月28日17时。

试验重新开始，456机库里再次响起“加载……检查……”的声音，唐吉运感觉自己的腿在发抖，他再也坚持不住了，一下子就坐在了椅子上，“压力太大了，从来没有一个试验做得这么惊心动魄，我当时就想，所有能做的事情已经都做了，就听天由命吧……”

等唐吉运再次醒来的时候，已经听到试验现场响起了零星的掌声，但他听不清楚，他急切地爬起来，向主席台前的大屏幕跑去，他看见身边的人都在哭，还没挤到前边，就听见播音员几乎带着哭腔大声地喊着：加载至100%，保载3秒……他知道，行了！挺过来了！

雷鸣般的掌声响彻全场，显示屏上定格着醒目的红色数字：100%。这既是试验的标准，也是中国民机人对航空安全不变的承诺。成功者理应获得荣誉和祝福，试验成功后，时任国务院总理温家宝让办公室打来电话祝贺试验成功，并慰问现场的同志们。

很多人拥抱在一起失声痛哭，即使在ARJ21-700飞机首飞的时候都没有这样忘情地哭过。所有来自外界的质疑与嘲讽都在这一刻被打破了，这是中国民机人第一次完全按照国际适航标准，在FAA审查代表的现场目击下获得的成功。虽然仅仅是完成了一项试验，但跨越的是一个技术的门槛，逆转的是一个承袭了近半个世纪的试验理念，这其中有多少的隐忍与委屈，有多少自我的否定与再造都无法对外人倾诉……

对于任何一名科研人员来说，试验中最美的都是监控器上完美的数据曲线，但是在郭伟毅看来，对于强度人来说，最美的也是最惊心动魄的，是极限载荷试验时清脆的断钉声，还有沉闷的飞机蒙皮鼓动的声音，但最美的还是试验加载到100%时的欢呼声。

承担风险，接受挑战永远是飞机设计师最好的老师，正如郭博智经常告诫年轻飞机设计师时所说，“挫折是可以塑造性格的”，正是这些意想不到的挫折塑造了中国民机人坚毅的性格。

罗荣怀已经记不清自己拥抱了多少试验人员，在他看来，这是一个仪式，一个科研人员特有的仪式！

“每当他们填补了一项技术空白的时候；每当他们在探索真理的路上摔倒后又爬起来的时候；每当他们站在世界或者国家的技术巅峰的时候，他们庆祝的方式是保守而又矜持的，只有鼓掌、拥抱和握手。”在罗荣怀看来，民机人身上的优秀品质正是我们这个时代的科学精神，他们用自己最质朴的方式诠释着航空报国的精神内涵。

未被实现的理想总是具有强大的动力，正是凭借着这种动力，中国民机人在折断处长出了最坚硬的骨头，而ARJ21-700飞机也将从此接受来自云端上的挑战。

第四章
云海之巅的征程



失速试飞一直是商用飞机风险最高的试飞科目。适航规章要求商用飞机有令人满意的失速特性来保障飞行安全，飞机性能要求商用飞机有尽量小的失速速度来提高飞机的经济性能。ARJ21-700飞机用了8220次失速来寻找“安全性”和”经济性”的最佳平衡点，成功地解决了飞机在失速气动设计以及失速适航验证等诸多方面的难题，是中国首次按照商用飞机适航标准完成的失速试飞

从2010年4月开始，ARJ21项目就全面进入了申请人表明条款符合性试飞阶段，在阎良中国飞行试验研究院（以下简称试飞院）的试飞现场，几乎所有的高层会议都围绕着一个主题：加快试飞进度，扫清阻碍进入型号检查核准书（TIA）的所有技术问题。而此时，与最初计划进入TIA的时间表相比已经推迟了三个月，但还有35项试飞科目没有完成……

申请人表明符合性的试飞阶段主要包括两部分内容：首先，是以冻结飞机

构型为目的调整试飞，通过进一步完善设计，冻结飞机设计构型；其次，是申请人按照批准的型号合格审定试飞大纲开展的飞行试验，用于表明航空器对于民航规章的符合性。只有在签发了TIA以后才能进入由CAAC试飞员和试飞工程师共同参与的审定试飞，在此期间，用于验证申请人所提交的飞行试验数据，以确定对于民航规章的符合性。而在进入TIA之前，申请人必须完成169项试验室试验和机上地面试验以及49项表明符合性试飞科目。

当时，ARJ21-700飞机的试飞形势空前严峻，时任中国商用飞机支线项目部副部长白永宽说："所有我们之前忽视的细节、所有错误的决策、所有我们未知的探索以及所有被遮蔽的问题，都从这一刻开始显现，需要我们彻底地去解决。而所有研制中的矛盾、观念上的冲突与路线图乃至技术细节的争议也都集中在这一时期，这是一场真正的来自云端上的挑战……"

研制进入"深水区"

2011年9月9日中午，工作人员将盒饭送进了试飞院467机库的ARJ21项目总指挥办公室。会议桌上的投影仪还在哗哗地工作着，参会人员紧盯着投影在墙上的一项一项试飞科目，意识到形势的严峻性。

"目前，尚余45.2%的研发试飞科目；71.5%的申请人表明条款符合性的试飞科目需要进行"这句话被标上了蓝色，显得格外醒目，而与会者的身份几乎集中了ARJ21项目两总系统所有的高层决策者，这足以说明事情的紧迫性，而随着试飞形势的愈益严峻，这样的高层会议几乎每天都在阎良试飞现场召开……

即使会议进行了一上午，仍然遗留了大量的问题亟待解决。空速校准、颤振试飞、失速试飞已经成为拖延时间表的最大障碍，而试飞效率不高的窘境更是始终制约着整个项目的进展。

ARJ21-700飞机总设计师陈勇试图在试飞科目间寻找出加快试飞进度的突破口，他强调说："风挡雨刷除雨试验是保证飞机飞行安全的重要试验，必须尽快安排，试验成功就能解除飞机雨天限制飞行的约束。"

2011年阎良地区的雨水似乎又非常多，连续一个星期的雨天，已经让四架参与试验试飞的飞机在机库里停了一个星期，这种情况实在令所有人恼火。此时，白永宽看着窗外顺着房檐落下的雨水更为发愁，因为根据气象预报显示，在FAA适航审查代表对颤振试飞进行现场目击的期间，阎良机场将有连续三天的降雨。

"颤振试飞不仅是唯一一个进入TIA前的局方验证试飞，同时也是综合考验

ARJ21-700飞机整体性能安全水平的高风险试飞科目。颤振试飞是否能够通过CAAC和FAA的适航审定，能否安全地完成，直接影响ARJ21项目进入TIA的节点，也间接影响取得适航证和飞机交付首家客户的时间节点。”白永宽有些一筹莫展地说：“两个月前CAAC和FAA并没有如期地在现场看到颤振试飞的进行，他们甚至怀疑我们在隐瞒某些问题。现在我们与CAAC和FAA之间的信任异常脆弱，任何事情或许都会成为导火索。所以，这次的现场目击变得尤为重要，如果FAA代表这次再看不到现场飞行的话，他们将会撤回，那么ARJ21-700飞机的适航取证之路将变得扑朔迷离。”

但是，ARJ21-700飞机试飞副总设计师修忠信却不得不遗憾地提醒大家：“目前，风挡雨刷的构型还没有冻结，与其相关的试飞均不能开展。而且，要想放开雨天飞行的限制，我们必须把发动机溅水试验做完，而这项试验需要占用跑道一个月的时间，试飞院同时还在试飞中国军方的众多飞机型号，在试飞资源紧张的情况下根本无法做出安排。目前，构型不冻结的问题多达32项，最关键的还是空速校准和失速试飞的进展，而失速试飞又受到攻角传感器位置没有最终确定的影响……”

对试验机构型状态的控制始终是谢灿军最关心的问题，也是FAA最关心的问题。在谢灿军看来，航空产品的研制，应该力求将技术问题解决在设计阶段，设计成一架“没有问题的飞机”，这是降低研制费用和缩短研制周期的需求。同样的一个问题，暴露得越晚，解决问题的难度与复杂性就越大。在试飞阶段，试验机的构型应该基本冻结，如果发现问题，解决问题的难度与复杂性主要体现在以下几方面：首先，如果引起构型的变化，需要在试验机上进行实施，工作难度与在零件制造、装配时解决此问题的难度相比不可同日而语。在很多时候，设计人员只能结合试验机的实际情况采用折中的处理办法，以避免报废大部件的情况发生。其次，由于在试飞阶段，大量的符合性验证试验、试飞项目已完成，如果在此时发生构型变化，对气动性能、重量重心变化、结构强度和系统性能功能都将产生影响，已完成的试验及试飞项目能否继续用于表明符合性，就需要进行充分的分析。

时任ARJ21-700飞机航电系统副总师的唐建华知道，柯林斯公司负责提供的失速保护计算机（SPC）软件升级的问题始终是每次会议都要被问及的问题，它已经拖延了大量使用失速速度作为基准速度的试飞科目的进展。而一个月前，唐建华盯在柯林斯公司亲自带回来的最新版本却又在实验室试验时出现了问题，软件的延迟已经是不可逆转的事实。

被供应商带入困境的还不只是航电系统，ARJ21-700飞机动力系统副总师常红就不得不面临重新进行大侧风试飞的选择。

2010年5月，发动机进气畸变地面和侧风起飞着陆试验在空军某试验训练基地进行，ARJ21-700飞机的发动机供应商——GE公司的一些先进测试设备也首次在试验中使用，其中，包括安装在102架机进气道内的7个压力测量耙，每个耙上均布置了多个压力传感器。“但是在试验中却发现GE公司测试设备存在工作不稳定现象，测量耙上多个测点失效，并且动态数据采集的数据信号微弱并与背景噪声混在一起根本无法分辨。”常红沮丧地说，“试验期间，由于GE公司相关技术人员无法进入试验机场进行维护，只有极少数的可读取的动态数据无法对整个试验结果进行描述，我们的试验没有达到预期的目的。”

一时间，适航部门、设计部门、试飞部门和供应商管理部门都开始激烈地发表起自己的意见，甚至还会彼此争论几句。而郭博智则更是斩钉截铁地告诉自己的设计人员：“现在就去优化我们的试飞任务单，必须提高每个架次的飞行任务，督促供应商解决他们自身的问题，同时，让IPT（产品集成开发）团队、高层例会、外籍专家以及所有能发挥作用的机制都快速地运转起来……”

罗荣怀的面前摆着32本局方已经批复的试飞大纲，这是ARJ21-700飞机表明安全性和符合适航标准的根本依据，也是对中国现有商用飞机研制能力提出的最大挑战。他此时已经抽掉了一整盒烟，看着空荡荡的烟盒，他强调说：“同志们，尽快把夜航的限制打开，让4架飞机都能昼夜不停地飞行，总之，我们不能再是目前这个试飞效率了。同志们啊，应该意识到我们的项目已经进入了研制的‘深水区’，我们要思考如何走出目前的困境。”

会议室里烟雾缭绕，就像此时的试飞形势一样，迷雾重重，看不到前路，每一个决策都变得异常的谨慎，任何一个细节的忽视或许都能将项目拖进泥潭。“显然，我们之前完全低估了商用飞机试飞的复杂性。虽然，我们没有任何经验可以借鉴，没有成熟的体系可以应用，但是我们必须找到出路……”罗荣怀说。

此时，在隔壁的ARJ21项目副总设计师的办公室里，结构副总师吕军又收到了吴坚发来的红色特号字体的邮件，除了再次重申CAAC在ARJ21-700飞机内襟翼舱5#隔板裂纹问题上的态度和事情的严重程度，最后还是不忘再强调一句“跳楼”的警告……

“如果跳楼能解决问题，我马上就会去跳楼，那科学研究之路也就变得再简单不过了。”吕军疲惫地说，“跳楼解决不了任何问题，我们必须要用科学的方式来定位问题，到底这是个飞机个性化的问题，是我们设计细节的问题，还是我们选择的材料问题。还是制造环节的问题。总之，我们必须充分地做试验才能彻底地解决问题，才能冻结飞机的构型。”

2010年4月至2011年8月，ARJ21-700飞机101、102和104架飞机的机翼内襟翼舱5#隔板处共发生了10次裂纹。吕军介绍说：“当时，裂纹故障的频发和处理措施的失效给设计人员带来了很大的心理压力。很长时间，大家见到我问的第一句话就是‘裂纹的问题解决了吗？’这个问题困扰了我们很长时间，我们通过很多种方式来寻找问题产生的根源，最终发现是由于没有对襟翼打开后产生的振动进行分析而引起的。虽然我们通过提高结构强度和刚度的方法解决了裂纹的问题，但是，振动产生的原因以及如何降低该部位的振动等更深层次的问题也成为商用飞机研究领域的新课题，值得我们去探索。”

事实上，ARJ21-700飞机是国内第一架真正意义的按照适航要求开展设计和验证的商用飞机。由于设计经验不足，知识不完整而引起的故障在当时是不可避免的，很多问题也只有通过验证才能发现。

“如果我们的设计经验非常丰富，的确会把很多的设计细节考虑周全，情况会比现在好很多，但即使是波音和空客公司这样最成熟的飞机制造商也不能完全避免所有的问题，同样是要在试验试飞阶段来暴露问题，来验证设计的有效性。”谢灿军说，“这就是商用飞机的研制规律。但是，在TIA之前，我们被突如其来的问题弄得焦头烂额，试验试飞阶段到底是用来暴露飞机问题的，还是要验证适航条款，在当时我们的确存在很多的争议与不同的认识。”

“事实上，成熟的飞机制造商将这段研制‘深水区’称为‘调整试飞阶段’，试飞目的并不是围绕暴露飞机的问题，而是通过验证适航条款来保证飞机的安全性。”赵越让解释说，“这与军机的试飞模式是截然不同的，军机的试飞过程永远是在暴露飞机问题、解决问题、改进设计，甚至在装备部队后还在暴露问题。我们在当时并没有意识到这些问题，所以感觉飞机每天都在飞很多的架次，但是既打不开试飞包线，又没有数据能够表明对于条款的符合性。”

ARJ21-700飞机飞控系统副总设计师田剑波的办公桌上留下了半块没有吃完的巧克力，大量的参考资料散乱地堆在桌面上，桌角下还堆着一个恐怕只有他自己才能叫得上名字的试验件。田剑波匆匆地抓起桌子上的一份资料，临出门的时候又将那半块巧克力塞在嘴里，恐怕这就是他的晚饭了，然后就匆匆跑到楼下和飞控系统的团队进行攻关去了，一边走一边说：“形势并不乐观，我们再不找到解决问题的途径，就是下一个要‘跳楼’的了。”

看来，这又是一个阎良的不眠夜……

就在高层会议接近尾声的时候，罗荣怀的提醒再次让大家的心悬了起来。

因为在最近对105架机的全机电缆检查中，外籍专家仅仅两个小时就提出了180多项问题，这是个足以让大家把心悬到嗓子眼的数字。因为，飞机一旦着火后果是无法想象的。

“当我们走完一个完整的民机研制历程之后，我们发现，验证一架飞机尤其是按照适航条款的要求来验证一架飞机是异常艰难的。在设计和制造阶段，每一天你都可以看见飞机明显的变化，甚至一些没有考虑到的问题也被忽略了。但是在试验和试飞阶段，所有你之前所犯的错误和被忽略的问题都将体现出来，尤其是那些考验设计师能力的细节问题，而此时，在装有上百个测试设备、上千个系统中捕捉问题、解决问题无疑会使你焦头烂额……”郭博智说，“我们无时无刻不在担心会失去ARJ21-700飞机，但是，作为飞机设计师，我们不能，也不会让这种事情发生。”

让它飞起来

2010年春节假期还没结束，作为ARJ21项目西安外场试验队办公室主任的杨艳红就拖着行李箱准备去阎良，还不懂事的儿子挥着柔软的小手向她轻声告别：“妈妈！你什么时候再来家里玩？”这一年，杨艳红在阎良工作了300多天，她错过了儿子成长的瞬间，但她却推动着ARJ21项目试飞现场工作的进展，没有谁比她更了解这四架飞机的试飞情况。

2010年9月17日，104架机顺利飞抵西安阎良机场，当时媒体对此一致认为：四架试验机的全部到位，标志着ARJ21飞机全面进入高强度试飞取证阶段。

“事实上，当时虽然四架飞机各自承担的试飞任务都已经明确，承担ARJ21项目试飞任务的试飞院也制定了每架飞机的试飞科目逻辑图，但是，我们跟飞在试飞现场的每个人，对四架机整体的试飞任务量、试飞阶段的划分、试飞科目之间的逻辑关系以及试飞展开的前置条件等这些制约民机试飞的因素，都还没有建立起一个清晰而完整的印象。”

2010年，杨艳红编制了ARJ21项目第一份“四架机试飞科目逻辑图”。曾经有人粗略地计算过，在ARJ21飞机试飞期间，平均每耽误一天，项目的直接经济损失就达几十万元，这个数字更能从侧面充分说明试飞现场组织管理的难度。

ARJ21项目顾问刘乾酉仍然清晰地记得当时的情况：“我们国家的民机研制并没有留给我们太多可以借鉴的经验，尤其是在各种问题和矛盾集中体现的试飞阶段，如何合理地规划试飞科目，对于我们来说是个全新的课题。”

“从表面上看，这是个试飞计划的制订过程，实质上体现了我们对于民机试飞规律理解与掌握的程度，这种管理能力的建立是我国发展民机产业的关键所在。”时任ARJ21-700飞机项目副总指挥的郑闻说。

“ARJ21-700飞机的试飞科目有300多个，型号审定基础确定的适用适航条款398项，细目则多达2073个，其中需要通过试飞验证的细目有413个。”杨艳红介绍说，“我们当时的任务就是要把这些数字通过试飞计划的形式关联出来，而且还要是科学合理的，关键是可执行的。”

“300多个试飞科目展开的先后逻辑顺序是什么？”

“每项试飞科目开始前需要完成的前置试验科目是什么？”

“对于飞机构型的要求、对于飞机测试改装的要求、对于特殊气象条件和机场环境的要求都有哪些……”

所有这些问题，都需要杨艳红这个团队全部掌握，综合衡量。

“梳理这些问题就像是清理灌木丛一样艰难，很多的试飞节点还是拖延了，几乎没有一个试飞科目是按照我们的计划开展的，你知道这有多让人沮丧，我不得不承认，我们不知道还剩多少工作量。”杨艳红说。

“事实上，一份非常理想的试飞计划是很难制订的，这不仅仅体现为飞机状态的问题，还有诸多别的因素也是我们必须考虑的。即使空客的A380飞机和波音公司的B787飞机在试飞过程中也同样出现这样的问题，商用飞机的试飞规划能力已经成为困扰国际飞机制造商的普遍性难题。”中国商飞支线项目部武兆伟坦言，“要知道，影响试飞计划有效执行的因素实在是太多了，设计、制造、供应商、适航、人力资源、空域甚至是气象条件，任何一个环节哪怕是出现一个微小的问题，我们的飞机都不能按照计划飞起来”。

“试飞规划是一项涉及几十种复杂因素的综合、分解与优化过程，是一项随着试飞任务的进展在技术、进度和经费之间综合优化不断迭代的过程，是一项涉及项目研制、试飞技术、飞机构型、试飞资源及试飞保障的综合性系统工程。”试飞院ARJ21-700飞机试飞副总师赵杰介绍说：“波音和空客公司曾经专门组织力量，使用先进的系统工程、并行工程技术以及统筹规划方法，对试飞任务规划进行了研究，但由于影响试飞进展的不确定性因素实在是太多，最终也没有形成一套现实可行的方法。”

那段时间，所有的矛盾高度交织，似乎没有什么共识与信任可言，每个人都凭借着自己已有的经验进行判断，对于那些自己并不了解的问题，那些

未知之境，往往态度只有一个：谨慎甚至保守。对于任何一个有风险的试飞科目，无论是CAAC还是试飞院，只要有人对任何的技术问题没有信心，ARJ21-700飞机就无法起飞！

那段时间，飞机设计师与CAAC审查代表之间存在着大量的技术争论，对于试飞科目的判据、所采用的试飞方法、试飞数据的分析解读，当然还包括CAAC处理FAA问题上的态度都成为他们之间争论的核心。

年轻的飞机设计师争论急了的时候会带着很大的情绪说："CAAC的审查太苛刻了，FAA的态度成了左右他们决策的风向标。很多时候，他们没有抓住试验考核的重点。要知道，FAA让我们增加的很多测试点是在给FAA积累审定的经验，因为波音和空客公司是不会给他们做这些试验的。"

CAAC急了的时候也会指着飞机设计师犯的明显错误说："即使这些错误不代表申请人的水平，起码也证明了他们缺少严谨的态度。我们首先是代表公众利益，服务的是航空的公共安全；其次才是带动工业方的发展。正如中国民用航空局副局长李健所说，我们适航审定能力建设存在人力资源和审定技术研究手段不足的问题，面对FAA的'影子审查'时我们不得不采取谨慎的态度，因为这涉及中美适航领域双边的签订，所以，在没有完全被说服之前，我不会允许ARJ21-700飞机起飞。"

双方矛盾升级的时候，罗荣怀不得不多次重申中国商飞的"三尊（遵）"原则。事实上，大多数CAAC的审查代表都是ARJ21-700飞机副总设计师们的师兄弟，他们之间有着自己解决问题的方式。除了多年的感情基础——对ARJ21-700飞机的感情，他们在技术领域的认知与判断也很快就能让他们寻找到达成共识的平衡点。只是由于不同的立场，申请人出于研制进度的压力和受到自身技术把握程度的局限，很多时候希望CAAC能够做出妥协与让步。但是CAAC则认为，与其花时间来说服还不如彻底地用技术能力去解决问题。

在ARJ21-700飞机问题暴露最多的时候，飞机设计师与项目部门的矛盾也几乎到了一种临界的状态。

中国商飞公司海外专家许俊峰说："每天早晨，在ARJ21项目试飞管理的早例会上，主持人都会把101架机到104架机的问题梳理一遍，问题多的时候，他甚至会让设计人员站在前面做检讨。这样做不但毫无效果，也造成了设计人员与项目管理者的情感对立。而在波音或者空客公司，是由各架飞机的试飞主管来负责这些科目的完成工作，这样的安排才能使任务清楚、责任明确、充分调动积极性，而我们既缺少主管试飞与适航的总设计师，也缺少试飞工程师。"

原中航商飞总经理汤小平介绍说："那段时间，设计人员受到了很大的指责与压力，因为试飞中的任何问题都是以技术问题的形式体现出来。但是，真正出问题的是我们的管理。正如国际著名咨询机构董事长约翰逊所说'任何项目的失败很少是由于技术原因，更多的是管理的原因。'"

随着试飞科目的不断展开，越来越多的管理者开始意识到，试飞院现有的军机试飞模式已经完全不适应商用飞机的试飞鉴定。项目的管理者开始在矛盾中反思：中国商用飞机的研制，究竟应该建立一个什么样的试飞体系？

随着航空工业的发展，商用飞机采用的技术越来越先进，系统越来越复杂，因此商用飞机的试飞技术也变得越来越复杂，试飞小时数也由1500多小时增加到超过4000小时，需要测试的参数也不断增加，对商用飞机适航取证工作都带来了新的挑战。

试飞院ARJ21项目吴春麟举例说："我们商用飞机的试飞经验更多来自MA60飞机，但是它的试飞基础数据大部分是继承俄罗斯的运-7飞机，我们只进行了部分补充试飞，当时试飞原型机的测试参数量仅在800个左右，而ARJ21-700飞机仅一架试飞原型机的测试参数就在8000多个。MA60飞机的数据采集器当时只用了两台，而ARJ21-700飞机用于性能操稳试飞的104架机就用了14台采集器，试飞工作量增加的同时也意味着对我们试飞技术和数据分析能力的挑战。而我们在商用飞机试飞技术上的储备并不完整，当大家都不知道怎么做的时候，矛盾就会凸显。"

"与ARJ21-700飞机一样受到延期困扰的波音公司当时为了加快B787飞机的试飞进度和提高试飞效率，制订了高密度的试飞计划。"田海玲介绍说，"他们的6架试飞原型机和参试人员轮番上阵，达到每个月试飞60小时的高出勤率，几乎是每周7天每天24小时的无节假日连续作业。每天7时至15时日光充足的黄金时段是试飞窗口时间，而15时至次日凌晨则是飞机维护和技术人员处理试验参数的时间。"

"与B787飞机相比，ARJ21-700飞机四架飞机平均每天的累计飞行时间却不足两个小时，科研试飞空域资源紧缺是影响ARJ21-700飞机试飞进度的一个重要原因。"修忠信介绍说。

ARJ21-700飞机大多数的飞行试验科目都是在试飞院的空域内进行，科研试飞空域资源紧缺的矛盾十分突出。首先，试飞院承担着我国大量军机以及外贸产品的试飞任务，所以，每天能够提供给ARJ21-700飞机的试飞时间非常有限。其次，据公开资料显示，在试飞院机场周边不仅有西安咸阳国际机场，还有五个军用机场、四个限制区，试飞院自身试飞空域资源紧缺的矛盾一直非常突出，很难提高研发飞机的试飞效率。

根据资料显示，波音公司至少有四个机场用于其研发飞机的试飞，它们分别位于华盛顿的西雅图、亚利桑那的玉马、蒙大拿的格拉斯哥和堪萨斯的维吉塔。这些试飞地点都分布在主要公用机场相对稀少的美国中西部地区，为试飞提供了广阔的空域。另外，波音公司经常借用美国空军爱德华兹空军基地的先进设备进行研发试飞，以提高试飞效率。

与试飞资源紧张相比，试飞院在军用飞机鉴定上的一些传统做法也表现出对商用飞机试飞的不适应性。那段时间给白永宽留下了深刻的印象："总体的感觉就是，制造问题的速度远远超过了我们解决问题的速度，如何让ARJ21-700飞机飞起来，是我每天最重要的工作内容……"

ARJ21-700飞机的架次主管会沮丧地说："我们曾发生过一起ARJ21-700飞机高压涡轮叶片断裂的事件，供应商和FAA以及CAAC都对是否影响试飞安全的问题进行了处理和答复，即使在CAAC批准的情况下，试飞院还是下达了全线停飞的命令，将我们的四架飞机停飞了五天……"

有些现场目击试飞结束后，CAAC在监控大厅里会追问："嘿！为什么你们总是在试飞过程中对局方批准的试飞大纲擅自进行调整？难道你们不知道，在ARJ21项目中我们才是审查方吗……"

甚至FAA也会在会议纪要中提醒CAAC："我认为CAAC对试飞院的管理是失控的，这将影响对CAAC适航审定能力的评估……"

飞机设计师会抱怨："我们需要先拓展试飞包线，然后在试飞包线内进行大强度试飞，这是国际商用飞机试飞的成熟方式。试飞院不能按照军机试飞的习惯，将所有风险性的试飞科目全都排在最后，采用逐渐向试飞包线逼近的试飞方法，这会增加试飞周期……"

进行颤振试飞的IPT团队会说："我需要在飞机上安装拖锥来进行空速校准，而不是用试飞院一直在军机试飞中使用的方式……"

进行试飞规划的团队会说："现有的试飞规划未能充分考虑科目备份和试飞计划的灵活性，导致试飞出现"瓶颈"时，无法及时进行计划调整，甚至出现有的试验机任务量严重超标，而其他试验机任务又不足的情况……"

"那一时期，似乎所有的问题都集中在试飞院身上，对于问题僵化的处理手段也没有反映出我们彼此间是至关重要的合作伙伴关系。"白永宽介绍说，"如何让承担军机鉴定责任的试飞院转变观念，适应商用飞机适航审定体系中的角色定位，建立适用于商用飞机的试飞体系与组织结构是我们项目在当时遇到的最大的挑战"。

“建立新的合作伙伴关系来适应发展的变化”，这个声音变得越来越紧迫，无论是试飞院还是中国商飞公司都在合作当中寻找着彼此的地位与价值。

20世纪80年代初，随着我国商用飞机项目的发展，中国飞行试验研究院成立了适航试飞技术研究室，并以运-7飞机的小速度试飞为突破口开始了商用飞机试飞技术的研究工作。

“我们曾经按照CCAR25部开展过运-7系列飞机的适航审定试飞工作；按照CCAR23部开展了小鹰-500飞机的适航审定试飞工作。”赵杰介绍说，“但是，在这些型号的适航审定中，我们的确带有着很深的军机鉴定的痕迹，与ARJ21-700飞机的适航审定难度完全不能相比。”

“首先我们面临的是角色上的变化，在军机的试飞过程中，试飞院是代表国家对军用航空产品进行鉴定的，既没有‘第三方’的监管，也没有人会质疑我们所给出的结论和我们的权威性。但是在商用飞机的适航审定试飞上，我们是申请人的组成部分，CAAC才是代表国家对商用航空产品进行审定的机构，代表政府验证我们所给出的试飞数据与结论。”试飞院副院长赵鹏介绍说，“要知道，这个转变是异常艰难的。在开始的时候，我们很难转变自己的角色和转换自己的思维，所以，无论是CAAC还是中国商飞都感觉与我们共同协调问题总是很艰难。”

“另外的矛盾还体现在对于技术指标的要求上，在军机的鉴定中，受到现有试飞鉴定技术的制约，我们只需要满足军方的要求，以实现技术成功、提升战斗力为目标，大部分的条款是可以协商的。”赵杰介绍说，“但是，对于商用飞机的验证则必须严格按照CCAR25部的要求，为了达到经济性与安全性的平衡点，很多时候要验证得更细、更准确，甚至误差的控制都是判据的一部分，例如颤振试飞中要求飞机马赫数允许的偏差必须控制在正负0.015马赫，没有任何可以协商的余地，这些都对我们的试飞技术提出挑战。”

“事实上，商用飞机的试飞数据处理难度也远远大于军机。由于商用飞机的数据采集点非常密，数据的辨识频率就非常接近，分析数据就像是在无数的双胞胎中进行辨识一样。而军机的数据采集点相对较少，数据的辨识频率就非常明显，分析数据就像是辨别不同的人，乃至不同肤色的人一样，相对简单。”试飞院ARJ21项目颤振试飞技术负责人霍幸莉介绍说，“另外，在军机的试飞大纲上，试飞院具有权威性，而商用飞机的试飞大纲至少要更改10轮以上，直到获得CAAC的认可与批准，甚至在试飞过程中不能调整……对于成立了近半个世纪的试飞院来说，很难接受这种角色上的转变。”

“在我看来，试飞院是个非常有性格的试飞机构，他们渴望得到认可，也

从不愿轻易认输，大多数的研究人员都有非常丰富的工程经验，知道如何用工程的思维解决一些技术上无法解决的问题。只是在当时，他们并不知道商用飞机适航条款验证的核心是什么，他们有点不知所措，又不愿意承认自己缺少经验。”赵越让介绍说，“但是，矛盾必将触动观念上的改变。随后，我们在很多时候都能够看到试飞院的技术人员开始走到哪都带着一本厚厚的适航条款和咨询通告在研究，条款上很多的段落都被醒目的颜色标注出来。然后，他们会追问CAAC，这些条款产生的背景和历次修订的原因。转变观念后，他们解决问题的速度同样是惊人的。”

“在ARJ21-700飞机的试飞过程中，有的时候，必须根据有限的信息，甚至是相互矛盾的信息，运用自己的判断力做出相对正确的抉择。”赵杰介绍说，“在多种约束和不确定性因素的影响下，在有限资源的条件下，如何抓住主要矛盾去寻找可接受的，而不是完美的解决方案，这本身就是一门艺术，何况航空器的试飞从来就是风险与智慧的综合挑战。”

在研制“深水区”的这段时间里，罗荣怀总是会说：“用10年甚至更长的一段时间来做一件你毫无经验的事情，几乎每时每刻你都要接受挑战，都要面对质疑，都要证明自己，都要快速地解决问题，甚至是承受失败从头再来……”或许，这并不仅仅是出于职业的兴趣和凭借自身的勇气所能支撑的，而是一份使命，一份中国人期盼了近半个世纪的梦想。在此期间，很多人牺牲了自己的利益，只为看到理想实现的那一刻。

并不是所有的情况都如此令人难以掌控，起码颤振试飞的顺利将ARJ21项目带出了“深水区”。

颤振！我们是一切试飞科目的基石

颤振是探索飞机最大飞行速度的高风险试飞科目，它可以让飞机瞬间解体；它代表着飞机的右边界速度，是一切试飞科目的基石。而在上海飞机设计研究院强度专业研究员章俊杰眼里，“颤振则是暴烈的！”

颤振是弹性飞机在气流中发生的发散自激振动，是由非定常空气动力、惯性力以及弹性力耦合在一起所引起的。当飞机的飞行速度大于某一临界速度后，偶然的小扰动都会引起飞机振幅持续增大的振动，直至振动无限扩大导致机毁人亡。

颤振曾多次造成飞机坠毁，历史上很多试飞员因此丧生。

第一次世界大战初期“胜利者”轰炸机就曾多次因颤振事故而坠毁。1941年11月4日，美国洛克希德公司研制的高速战斗机的原型机YP-38“闪电”在加州的格伦代尔上空试飞时，试飞员拉尔夫·费登没能把飞机从俯冲状态拉

起，飞机发生颤振，随即空中解体。1997年9月，美国一架F-117A“夜鹰”隐形战斗轰炸机因为发生了机翼颤振，使一个机翼的大部分脱落，导致了灾难性事故。2015年7月15日，FAA称波音公司最新的747-8飞机在高过载飞行状态下且某些系统发生故障时可能会出现颤振现象，FAA要求波音747-8型号飞机在未来五年内对飞机的机翼进行改进，以规避颤振风险，波音公司预计每架飞机的改装费用是40万美元以上。

由此可见，一旦飞机发生颤振，会在极短的时间内造成机毁人亡，飞行员没有处置时间。因此，飞机在飞行包线内不允许发生颤振。对于商用飞机来说，对颤振的要求则更为苛刻，必须严格按照适航条款的规定，通过严密而全面的理论分析、风洞试验、地面试验以及颤振试飞来表明飞机满足适航条款的要求。

“颤振是飞机结构最危险的振动形式，是飞行器飞行中极易造成灾难性后果的一种气动弹性现象，不能人为控制，只能通过合理的结构设计来避免。”章俊杰介绍说，“一旦出现颤振问题，对于型号研制来说就是颠覆性的。所以，在ARJ21-700飞机研制的早期阶段，我们就开始进行防颤振设计研究，并且这种研究贯穿于研制的全过程。”

“颤振试飞属于国家Ⅰ类风险科目，因为其高风险性，所以是我们唯一在TIA之前与CAAC并行的试飞科目，也是FAA开展‘影子审查’的第一个试飞科目。”白永宽介绍说，“所以，颤振试飞能否顺利完成，不仅直接影响ARJ21项目进入TIA的节点，也影响中美适航双边协议的进展。”

在467机库三楼临时的设计室里，年轻的飞机设计师们挤了满满一屋子，甚至一张桌子前最多时有6名飞机设计师挤在一起办公，他们每天都在这里解决最棘手的现场问题。在强度设计专业的桌子前，章俊杰和田海玲正在和同事们最后核对着“ARJ21-700飞机颤振验证试飞局方（FAA/CAAC）审查会”的汇报资料。

“这次CAAC和FAA要目击四个试验点的试飞，其中22号状态点是扩展飞机包线的试飞点，也是风险性最高的试验点。”田海玲指着“ARJ21-700飞机101架机颤振试飞状态点”介绍道：“在22号状态点上，ARJ21-700飞机将爬升到8000米高空，然后以0.83马赫向下俯冲，在这一点上对飞机进行激励，检测飞机是否出现颤振的现象，在此之前，ARJ21-700飞机从来没有飞过这么快的速度。”

事实上，《ARJ21-700飞机颤振试飞大纲》于2011年4月12日就获得了CAAC的批准。但是就在要进行地面试验的当天，申请人突然收到CAAC转发的FAA提出的25个问题，不仅包括颤振试飞的试验点选取、测试设备校准、飞机构型状态、飞控航电模式控制等问题，还包括了试飞程序管理以

及CAAC审查的情况。

朱广荣对当时的情况记得非常清晰："如果我们对25个问题的答复不能得到CAAC和FAA的认可，那么CAAC将不同意颤振试飞的进行，并将推迟FAA'影子审查'的时间表"，所以当时的形势很紧张，也为原本顺利开始颤振试飞蒙上了一层阴影……

"25个问题中针对设计的问题提得非常苛刻，针对我们颤振试飞的方法问题也非常尖锐。"霍幸莉一早就拿到了这些问题，"但我更想知道FAA是想了解什么？我们要从哪个角度回答，才能给出令FAA满意的答案？这其中有很多问题是具有争议性的，我们并不认为完全接受FAA的建议就是最好的解决方案，要知道，工程的魅力就在于用最有效的方法解决最棘手的问题。"

或许是出于谨慎的态度，或许是出于顺利通过FAA"影子审查"的评估，CAAC当时希望申请人能够接受FAA的建议修改试飞大纲。

事实上，这在当时的ARJ21项目中是一个很糟糕的状况，一些航空业内的观察人士表示，当申请人与CAAC或者FAA在技术层面出现争议的时候，他们之间缺少一个能够进行技术仲裁的权威机构，所以造成几乎所有有争议的技术问题的决策，全依赖于每个专业审查代表的信心与技术判断。如果他们缺少信心，而FAA又表现得很强势，那么这个科目的审定就不能进行下去，这与FAA的审查机制与组织结构截然不同。所以，中国商飞公司邀请了很多FAA退休的工作人员出任ARJ21项目的技术顾问，其中大多数人是由FAA推荐的，也有一些是CAAC高层指定的，吴坚甚至经常会在一些科目审查前先问申请人是否邀请了他指定的外籍技术顾问。很多时候，这些外籍技术顾问在ARJ21项目上似乎更有话语权，CAAC和FAA更愿意听取他们的意见与结论。虽然在ARJ21项目的管理人员看来，这是一种有效解决争议、推动项目进展的方法，但在大多数设计人员看来，这种信任毕竟不是建立在中国本土技术人员与CAAC，尤其是FAA之间的直接信任……

"我们用了很长时间去说服CAAC同意我们直接与FAA召开电话会议进行技术沟通。很多时候，沟通的难度比解决一个具体的技术问题更要消耗精力。"上海飞机设计研究院杨飞介绍说，"当时，25个问题主要集中在三个方面：增加试飞高度、加装襟翼小翼传感器和进行故障状态颤振试飞。"

"FAA认为我们试飞大纲中仅设置两个试飞高度不足以覆盖整个ARJ21-700飞机的飞行包线，而增加10千米高度可以考核ARJ21-700飞机在升限附近是否出现嗡鸣声，所以，FAA建议我们将试飞高度增加到四个：3.5千米、6.4千米、8.0千米和10.668千米。"朱广荣介绍说，"至于FAA认为，

ARJ21-700飞机可能存在襟翼颤振和小翼颤振的情况，需要在襟翼和小翼上加装振动传感器的问题，我们认为，ARJ21-700飞机的颤振特性已经表明，不可能存在襟翼颤振和小翼颤振的情况，所以，不需要在襟翼和小翼上加装振动传感器。但FAA并不认同我们的观点。”

“为了尽快推进颤振试飞的进展，我们不得不在这两个问题上都做了妥协与让步，最终增加了4个试飞高度，并在襟翼和小翼上增加8个加速度传感器。”田海玲介绍说，“而实际的颤振试飞数据也证明了我们的判断，这些传感器的信号在大马赫数时仅能起到参考的作用。”

而对于FAA提出的在颤振试飞中模拟故障状态的问题，申请人则再也不能做出妥协。

“我们在理论分析和模型试验中已经充分考虑了ARJ21-700飞机各种故障状态下的颤振特性，要知道，颤振试飞是国家Ⅰ类风险试飞科目，在试飞中再模拟故障状态是在风险上再叠加风险，这是极不现实的！”章俊杰介绍说，“据我们所知，即使是波音和空客公司也绝对没有在颤振试飞中模拟故障状态的先例……”

当时，很多的技术人员不禁追问，FAA提出这样的建议究竟是要验证哪些问题？最后，FAA的审查代表表示：我们提出这些问题只是与申请人进行技术层面的讨论而已……

在申请人针对所有25个问题进行解答后，FAA审查代表甚至直接表态：我相信，颤振试飞将是下一个胜利，我认为申请人各个方面做得都非常好，ARJ21-700飞机一定会是一架非常安全的飞机。

一些ARJ21项目上的老专家认为，如果当时面对FAA的质疑，申请人没有表现出在颤振技术上的自信，没有积极争取话语权，而是一味地妥协与让步，或许ARJ21项目乃至CAAC就都将成为国际航空业界的一个笑话。事后，FAA曾经在私下的场合承认，并不一定要将试飞高度增加到四个，他们只是说了个数字，没想到CAAC与申请人就接受了……

一位航空界的老人表示：很多时候，我们不得不因此产生忧虑，FAA或者是在考验我们对于适航条款的技术把握能力，或者就是在让我们做那些波音或者空客公司出于成本与研制周期考虑不愿意为他们做的试验或者试飞，毕竟在某些新的适航条款以及修正案上，FAA也需要积累试验数据和审定经验。但是对于ARJ21-700这样的新飞机来说，任何一项试验与试飞的增加都是成本的付出与充满了风险的挑战……

2011年7月8日，ARJ21-700飞机颤振验证试飞局方（FAA/CAAC）审查会

如期举行。出于保密的原因，FAA乘坐的车辆被严格地限制了在试飞院内的行车路线以避开敏感的区域，并且两侧的车窗都被遮挡上。

ARJ21-700飞机颤振试飞的实时画面传送到试飞院的RDAS监控大厅，监控大厅的大屏幕上实时地显示着各种试验数据，中美两国局方的审查代表都在这里目击整个试飞过程。此时，白永宽终于如释重负地坐在房间的角落里，“在经过了一系列的麻烦之后，我们终于起飞了。”

霍幸莉坐在监控台前监控着试飞数据，今天就要飞最严酷的22号试飞点，这是个扩展飞机包线的试飞点，也是风险性最大的试验点。专家们在不断地分析实时传回的数据，对讲机里不断地传回试飞员的声音：

“飞行高度8000米，云层较厚，继续寻找试飞区域……”

由于颤振试飞对气象条件有着严格的要求，不能在云、雨和雪的气象条件下进行，所以试飞员一直在空中寻找着合适的试飞区域……

“在颤振试飞时，我们需要逐步提高飞行速度直至将飞行速度包线向外扩展至设计俯冲包线。”霍幸莉介绍说，“其中，对于ARJ21-700飞机平飞不能达到的速度试验点，我们必须用俯冲加速的方法以达到试飞状态点”。

在整个颤振试飞期间，试飞员驾驶着ARJ21-700飞机分别在四个高度的37个颤振试验点上进行了24个架次的试飞，最大俯冲飞行马赫数达到0.89，其中，瞬间最大飞行马赫数达到0.91。

当试飞员驾驶ARJ21-700飞机向下俯冲达到0.91马赫的时候，坐在监控大厅里的霍幸莉特别想去拥抱个人，因为她太需要释放内心的压力与激动……

“按照CAAC判据要求，试飞员必须在0.89马赫数这个飞行包线的拐点上保持32秒的时间，这要求试飞员必须对ARJ21-700飞机的颤振裕度有足够的信心，试飞员也要有足够的把握与技巧能够将ARJ21-700飞机控制好……”霍幸莉介绍说，“我一直认为这个判据实在太苛刻，飞行高度允许的偏差必须在正负160英尺；速度允许的偏差必须在正负0.015马赫。这意味着试飞员在试飞过程中必须精准地飞到0.89马赫，这对试飞员的考验是巨大的，不仅是试飞技术上的，更是心理上的，甚至试飞员手指关节间的微小变化都会直接影响到试飞数据的有效性，这真的可以看作是试飞员指尖上的旋律。”

“CAAC总是怕我们没有验证到ARJ21-700飞机的安全性，我们在8千米0.89马赫这个测试点飞了7次，国外几乎没有商用飞机会在进行颤振试飞

的时候，在飞行包线的拐点上做这么多次的临界飞行……”赵杰将空客A380飞机颤振试飞的纪录片看了很多遍，“A380飞机的驾驶舱震动得非常厉害，能够清晰地看到试飞员的脸部肌肉都变得扭曲，飞机震动的声音都很难忍受，可想而知试飞员在试飞时的危险程度。”

“冲击0.89马赫数的时候，我们就像坐在搅拌机里一样。”申请人试飞员赵生介绍说，“我们把ARJ21-700飞机照顾得很好，它也把我们照顾得很好。我们比空客A380飞机的颤振试飞顺利多了，他们的飞机起落架可差点从机身上掉下来，试飞进度不得不搁浅了。”

“我对试飞员非常的感谢，0.89马赫数飞完之后，意味着ARJ21-700飞机飞行包线内的所有地方都能飞，都是安全的！”霍幸莉自信地说，“对颤振试飞的分析和数据确认表明，ARJ21-700飞机飞行平稳、各阶模态阻尼足够、与颤振专业预想的结果完全一致。”作为咨询专家，原FAA适航审查代表杰瑞先生看过数据后却更为乐观，他直接告诉他的美国同行们：目前的试验数据表明，ARJ21-700飞机会满足CCAR25-629（e）条的要求，这是一架安全的飞机！

2011年8月3日15时50分，由试飞员陈明和赵生驾驶的ARJ21-700飞机101架机安全降落在试飞院的跑道上，为四个月的颤振试飞画上了圆满的句号，这也是ARJ21项目研制历史上，进行得最为顺利的一项试飞。

“试飞结果表明ARJ21-700飞机未出现任何颤振不稳定现象，未出现操纵面颤振、嗡鸣、发散和操纵反效，未出现任何因结构变形引起的稳定性、操纵性的降低，颤振裕度足够。”朱广荣充满自豪地介绍说。

伴随着ARJ21项目的进展，每个人对ARJ21-700飞机都加深了了解，颤振试飞的成功也更增加了CAAC的信心。“虽然我们与CAAC都非常重视ARJ21-700飞机的试飞进展，因为市场竞争与进度延迟的压力始终困扰着我们。”郭博智介绍说，“但我们必须保证ARJ21-700飞机的飞行安全，必须向客户交付一架满足适航标准的飞机。”

而所有这些，最重要的就是中国积累了商用飞机研制的完整经验，去建立一个完整的商用飞机试验与试飞体系。与此同时，CAAC也具有了与FAA同等的适航审定能力，而这一切的实现都离不开这架飞机——ARJ21-700飞机。

失速！我们通过8220次失速在安全性与经济性之间寻找平衡点

“这几个月我简直就像在坐过山车！”就像几个月前吕军所面临的困境一样，ARJ21-700飞机总体气动副总设计师赵克良也要“跳楼”了！

时任试飞院ARJ21项目副总设计师张健在走廊里拦住赵克良，“你的风标又锁死了！就在刚刚的失速试飞中！”

“是的，我在监控大厅已经看到数据了，试飞员也向我描述了飞机的状况。”赵克良疲惫地说。

“今天可没有构成结冰的气象条件，你不能再说是结冰造成飞机风标锁死了吧，你得找到真正的原因，风标所表示的攻角值可是我们判断一切的基础……”张健帮赵克良推开了会议室的门，此时，CAAC的审查代表、ARJ21项目的高层管理者以及设计人员已经坐了满满一屋子，正在等着赵克良对失速试飞中出现的“负过载”问题做出解释。

“好吧，按照适航条款的规定，商业运营的飞机是不能出现‘负过载’的，这种现象在最初的失速试飞中也出现过，但当时我们认为这种现象并不真实……”赵克良有些无奈地说，“可在2011年11月，试飞员在进行失速改出的时候，又出现了‘负过载’现象，我们意识到这的确成了棘手的问题。”

尽管试飞员和聘请的外籍专家都认为“负过载”并不会使ARJ21-700飞机进入危险的状态，但ARJ21型号合格审定组副组长钱惠德却并不认同他们的观点：“不！‘负过载’会使ARJ21-700飞机的失速速度发生变化，飞机有进入二次失速的安全隐患……你们要重新考虑这个问题。”

“失速试飞一直是商用飞机研制的难点问题，它的难度和复杂性在于：失速与深失速特性的研究与预测、失速和深失速的改出能力和方法以及失速保护逻辑的设计等问题。”没有谁比上海飞机设计研究院李栋成更了解这些问题所带来的挑战，“几乎每一个问题的出现都会将ARJ21项目拖入泥潭，几乎每一个失误也都会使我们失去ARJ21-700飞机，所以说，这是对我国在商用飞机失速设计领域的一次综合检验”。

在很多人的印象中，似乎2011年的整个冬季，赵克良都穿着那件又厚又肥的黑棉袄，每天都胡子拉碴地出现在各种技术讨论会上。当技术争论进行到难以达成共识的时候，或者，他也一时解释不清楚那些失速试飞中突然出现的棘手问题的时候，赵克良总会点燃一支烟，然后神秘兮兮地对大家说：“虽然，空气动力学是一门经典学科，已经有一百多年的历史，但是至今，我们人类也没有完全破解飞行的真正奥秘，依然不能像鸟类一样自由地飞翔，那些我们看不见的空气构成了飞行中空与力的艺术……总之，你们要记住，空气动力学就是一门‘玄学’。”

每当这个时候，作为赵克良的大学同班同学，钱惠德总是会说：“老同学，先放下你的‘玄学’，我们来说一说条款。你知道，条款要求不能出现‘负过载’。”

FAA的高层曾经花了很长时间研究每一位CAAC审查代表的性格、行事风格、承受压力的能力以及评估他们的适航审定能力。他们普遍认为，在ARJ21项目“影子审查”期间，作为ARJ21型号合格审定组的副组长，钱惠德是CAAC中少数几个敢于冲锋的审查代表，在很多双方谈判最艰难的时候，经常是别人还躲在战壕里，钱惠德就已经代表CAAC的利益冲上了阵地。

2011年10月，在CAAC与FAA的例行会议中，FAA对CAAC部分审查代表的能力做出了关键性的评估，甚至提出要更换一些专业审查代表的建议，在这种情况下，钱惠德对“负过载”的问题上变得异常谨慎。

“去，约你的老同学出去散散步！”面对失速试飞的困境，郭博智对赵克良说，“冬雨后的空气能令你们的心情放松”。

失速试飞最艰难的那段时间，在试飞院沿着机场种满梧桐树的小路上，或者是大良路上某个不起眼又黑黢黢的面摊前，大家经常能看到两个愁眉苦脸一起讨论“玄学”的人。

失速，无论是对于航空安全还是对于航空公司的盈利都至关重要，而商用飞机的失速试飞就是要确定飞机的失速速度，在飞机安全性与经济性之间寻找平衡点。

“总是有人会问，军用飞机的失速试飞与商用飞机的失速试飞区别在于什么地方？”赵克良介绍说，“我认为，军用飞机更注重安全性，而商用飞机则要在安全性与经济性之间寻找平衡，这对飞机设计师的系统综合能力提出了更大的挑战”。

每当赵克良试图说服钱惠德做出妥协的时候，钱惠德总是挥着胳膊说：“老同学，我们都知道，飞机设计永远是存在遗憾的，我们只能尽量做到臻于完美，因为总是会有我们考虑不到的地方。但是，作为飞机设计师，你必须通过对细节的精准化设计来达到临界，满足平衡，这才是商用飞机追求的精神，而不是不断地在问题上进行弥补，最后让飞机就像是一件打满了补丁的袍子……”

“打满补丁又能怎么样，简洁与完美那是科学家或者数学家的追求，工程技术人员追求的可是能否有效地解决问题，这才是工程的精神啊……”很多时候，这种“争论”只是他们释放压力的一种方式。

颤振试飞探索的是飞机的最大速度，而失速试飞则定义的是飞机的最小速度，一旦将这两个速度定义清楚，那么ARJ21-700飞机在包线内的任何飞行就都是安全的。

“失速是一切速度的基准，商用飞机的各种速度都是以失速速度的倍数来进行衡量的，低于失速速度就会引发飞行安全。”上海适航审定中心飞行性能室主任揭裕文介绍说，“对失速速度的定义也决定了飞机的起飞性能、爬升性能、进近性能和着陆性能，所以，失速速度的准确性直接影响了飞机的安全性与经济性，始终受到工业方、中美适航当局和航空公司的密切关注，也是我们CAAC始终关注的一项试飞科目。”

飞机失速是指飞机超过临界攻角后，由于机翼气流强烈分离所引起飞机随意的、非周期性的非定常运动，是使飞机升力明显降低、阻力急剧增大，性能和操稳品质急剧恶化的一种反常的飞行现象。

“商用飞机的失速就是机翼迎角超过临界迎角后，升力随迎角增大而减小的现象。当飞机失速时，飞机会产生失控的俯冲颠簸运动，发动机发生振动，试飞员会感到操纵异常，严重时会导致操纵面偏转困难，甚至会使飞机丧失升力，最终导致机毁人亡。”上海飞机设计研究院性能操稳专业飞机设计师付琳介绍说，“据不完全统计，在造成人员伤亡的民航飞行事故中，有17 %左右是由飞机失速所引起的，可见失速对于飞机安全的影响。”

出于航空安全的考虑，CAAC与FAA对于失速速度、失速特性、失速保护装置以及失速验证试飞都有明确的要求，CCAR25部中就有8个条款和3个修正案与其相关。尤其是针对ARJ21-700飞机这类尾吊高平尾布局的商用飞机，验证的难度就更为突出。

对于尾吊高平尾布局的飞机来说，由于失速时尾翼处于机翼、机身以及发动机吊挂及短舱的尾涡区内，所以，在失速问题上存在“天生”的缺陷，如何能够满足CCAR25部失速方面的适航要求就存在着极大的挑战。

赵克良解释说：“为了克服这个‘天生’的缺陷，ARJ21-700飞机就必须要增加失速保护系统（推杆器），并提高失效的概率，以使ARJ21-700飞机的失速特性能够满足CCAR25部相关条款要求。因此，ARJ21-700的失速特性是由飞机气动特性和失速保护系统特性共同决定的，这就为我们所有的曲折埋下了伏笔。”

从2010年12月2日，ARJ21-700飞机进行第一次的自然失速试飞开始，到2012年12月27日，CAAC的局方审定试飞正式结束，ARJ21-700飞机的失速试飞整整历时两年的时间。受到失速保护系统供应商——美国RC公司的影响，ARJ21-700先后进行了四轮失速试飞，10多名试飞员与试飞工程师参与其中，甚至有人曾与死神擦肩而过，他们用8220次失速来寻找ARJ21-700飞机安全性与经济性的最佳平衡点。由此可见，商用飞机的设计对精度的控制是一种极致的追求。

“如果我们确定的失速速度小于ARJ21-700飞机实际的失速速度，那么，飞机相应的一系列起飞特征速度和进近速度就会偏小，这将导致起飞安全余量降低，从而带来起飞过程中的安全隐患。”李栋成解释说，“相反，如果我们确定的失速速度大于飞机实际的失速速度，那么，相应的起飞特征速度和进近速度就会偏大，导致起飞和着陆距离增大，就会对机场的跑道长度提出要求，同时也会影响刹车系统的研制与验证，这不仅仅是增大研制成本的问题，更重要的是会降低ARJ21-700飞机的经济性，使其失去市场竞争力。”

事实上，寻找这个平衡点是异常艰难的。气动性设计好的飞机，飞机的性能与操纵稳定性之间达成平衡的范围较宽，很容易做到兼顾飞机的经济性和安全性。如果范围窄，则需要优化失速保护系统的各项指标或性能，例如，推杆速率、推杆行程和系统延迟时间等，以便在满足安全的同时提升飞机的性能，保证满足飞机的经济性指标。

在付琳看来，这不仅是对我们飞机设计师的考验，也是对试飞员的考验，因为在ARJ21-700飞机之前，我们从来没有在这个领域走得如此深远。

在失速试飞进行的最艰难的时候，性能操稳专业的7名飞机设计师大部分时间都在阎良的试飞现场，大部分的时候他们都在处理试飞中出现的棘手问题。除了试飞期间在监控大厅对数据进行监控，有时候他们还要与试飞员一起试飞，快速地定位出现的问题。偶尔，他们还要在某些试飞科目中临时充当一下“人体配重”。其实，很少有人能真正搞清楚他们所研究的问题，并不知道他们正在接受怎样的挑战；不知道他们手上的数据对于维护公众安全和航空公司的盈利有着怎样的现实意义；不知道他们熬红的双眼是解决了怎样的问题；不知道他们在击掌庆祝的瞬间又将我国在失速设计领域带入了一个怎样的高度……

早在2005年，当ARJ21-700飞机做完了大部分的风洞试验之后，赵克良就意识到ARJ21-700飞机的失速特性并不理想。同时，他们发现像ARJ21-700这种高平尾布局的飞机还面临着深失速的危险，很多关键性问题都需要找到最有效的解决方案……

“ARJ21-700飞机失速何时会发生？”

“ARJ21-700飞机深失速特性是什么？”

“ARJ21-700飞机是否具有从深失速中改出的能力……”

赵克良解释说：“只有摸清了ARJ21-700飞机的失速特性，才能在此基础上采用失速保护的细节设计，并通过试飞来验证设计的有效性，使

ARJ21-700飞机的失速速度和失速特性满足飞机获得航线运营的资格。”

失速特性试飞就是为了研究飞机进入失速状态期间飞机的操纵品质。理想的失速特性是指对飞机的失速响应是有利的，或者是易于飞行员控制的。如果飞机进入了失速状态，不要求飞行员采取任何特殊的驾驶技巧就能依靠飞机自身固有的失速特性从失速状态中安全与迅速地改出，从而保证飞机的安全。

“简单地说，飞机好的失速特性就像是设置一个安全的屏障，突破它就意味着危险。”付琳解释说，“如果不能全面、准确地确定ARJ21-700飞机的失速特性，或者错误地评估了它的失速特性，那么，未来在航线运营中，一旦飞机进入失速就很有可能造成机毁人亡的事故。”

按照CCAR25部的要求，为了改善飞机失速特性、防止飞机深失速后进入尾旋，ARJ21-700飞机设置了失速保护系统（推杆器）。当飞机接近失速时，失速保护系统通过振杆器、语音和视觉的告警提供清晰可辨的人工失速告警功能，在飞机达到推杆迎角时，通过自动推杆器强迫推杆防止飞机进入失速状态。

这是我国首次研制商用飞机的失速保护系统，也是我国首次按照CCAR25部的要求，对带有失速保护系统的商用飞机进行失速试飞与验证。

“最初我们认为，很多的挑战与技术难题会体现在飞机的失速特性上。但是，出乎我们意料的是，更多的挑战来自我们对国际供应商所提供的系统功能的定义上，还有系统综合的能力，而这两项能力都被看作是飞机制造商的核心能力。”赵克良解释说。

在试飞院有个传统，每当风险科目的试飞结束后，设计人员与项目管理人员都会到机场去迎接试飞员，这就像是航空人特有的一种仪式，既代表着对试飞员的致敬，同时也为了听取试飞员对于飞机最直接的评述。

每次在9号道上等待ARJ21-700飞机滑行过来的时候，赵克良总是会有些遗憾地看着ARJ21-700飞机的翼梢小翼。

“翼梢小翼的特点是在巡航状态下降低阻力与油耗，但是，我们的翼梢小翼与翼身的匹配设计并不完美，这导致了ARJ21-700飞机的失速特性并不理想。”赵克良介绍说，“我们在设计翼梢小翼的时候只关注了飞机的高速特性，注重的是翼梢小翼的减阻功能，但是对于它对低速性能的影响却没有充分考虑。不得不承认，国际同行在翼梢小翼的设计方面比我们更为成熟和富有经验。”

在进行失速试飞之前，赵克良担心ARJ21-700飞机受到失速特性的影响，会在试飞中出现快速的滚转，而张健则担心ARJ21-700飞机会进入尾旋，这两种情况都将给飞机和试飞员带来致命的危险。

“当一侧机翼先于另一侧机翼失速时，飞机会朝先失速的一侧机翼方向沿飞机的纵轴旋转，这种现象就是失速尾旋，会造成机毁人亡的结果。”张健介绍说，“为此，我们进行了大量的准备，前置科目就进行了13个，把ARJ21-700飞机的各种特性，可能遇到的各种问题都要考虑进来。”

2011年12月2日，ARJ21-700飞机首席试飞员、试飞院副院长赵鹏驾驶101架机开始了备受关注的ARJ21-700飞机的失速试飞，对失速保护系统的功能进行测试。

试飞员逐渐降低发动机功率，然后，缓慢地增加飞机上仰的姿态。此时，飞机可能会随着姿势的变化出现急剧的滚转，也可能会出现不可抑制的抖振，一旦出现了这些现象就证明ARJ21-700飞机已经到达了边界。

“飞机达到目标迎角11.4度，速度157节，飞机出现激烈抖振，发动机工作正常……”

“事实上，在赵鹏完成了第一个架次的试飞之后，ARJ21-700飞机失速特性上的风险就已经见底了。”赵克良解释说，“无论是我们担心的滚转问题还是试飞院担心的尾旋问题都没有出现，而且飞机表现得也比较平稳，各种姿态都在我们预计的范围内，验证了我们对于失速保护系统的设计是正确的，但是，随之也暴露出了航电系统设计上的问题，这是真正将我们拖进泥潭的问题。”

“各种的时间延迟、推杆信号不稳定、推杆器与伺服之间的不稳定……第一个架次试飞结束后，各种体现在失速保护计算机设置的问题就层出不穷地暴露出来。”赵克良解释说，“在整个失速试飞中，我们经历了五次‘过山车式’的攻关过程！”

在对第一个架次的数据进行分析的过程中，时间延迟的问题却令设计人员感到困惑。

正常情况下，当飞机的姿态达到推杆器工作的角度时，失速保护计算机会给信号指令，失速保护系统就会工作，使飞机改出失速状态，这段时间应该在2～3秒，但是，设计人员却发现，ARJ21-700飞机推杆器工作的延迟时间却达到了1.7秒。

“试飞员是凭借着自身的驾驶经验在对飞机的姿态进行了判断后进行了人

为的推杆，迫使飞机调整姿态，改出失速状态。”李栋成解释说，“但在航线运营中，这种状况是不能接受的，我们必须要让失速保护系统正常地工作，必须在试飞的过程中验证推杆器自动推杆的功能！”

延迟的问题也给试飞员带来了很大的困扰，他们必须选择是相信飞机设计师所设计的系统功能，还是在危机的时刻选择依靠自己的驾驶经验。对此，赵鹏坦言：“那段时间，我很难做到相信飞机设计师的设计系统，坐在驾驶舱里，如果遇到危机，我一定会把最后的几秒交给我自己处理而不是交给飞机去处理。”

究竟是什么导致了1.7秒的延迟？这个时间能不能被缩短？更令设计人员迷惑的是伺服器工作的稳定性也并不理想，就像个时常“溜号”的学生，不仅延迟，还时而工作时而不工作……

问题远不止于此，在后续的失速试飞中，设计人员发现左右迎角传感器的位置对于侧滑角的敏感度过高，他们必须对迎角信号进行修正才能输入到失速保护计算机中。“但是，如何进行修正？修正的过程中应该考虑哪些因素？我们在当时都缺少经验。”李栋成介绍说，“总之，我们必须找到准确表达飞机姿态的迎角值，它可是判断一切的标准，这与飞行安全密切相关……”

“我们的确在军机的失速设计上积累了经验，但是，国内对于失速保护系统的研究还是第一次，我们用了三个月的时间来搞清楚那些游走在失速保护系统里的信号究竟代表着什么，它们就像是四处捣乱的‘精灵’。”赵克良解释说，“在我们搞飞机气动性研究的人脑海里，我们会将航电系统输送过来的信号永远视为正确的，不会去怀疑信号的真实性。但在实际的失速试飞中，我们发现，一些航电系统输送过来的信号不但不真实，而且还相当不稳定，时常受到干扰。对此，我们不得不去自己研究这些‘精灵’的特性。”

那段时间，技术团队之间对于问题的理解也不尽一致，学科之间的碰撞也时有发生：气动专业会对航电专业说：嘿！飞机设计可不是摆家具，你得了解供应商产品的设计逻辑，你要对系统的功能进行设计……而航电专业会抱怨说：可你是总体专业，你应该考虑清楚所有的问题……

“这些碰撞的发生，说明我们的飞机设计师在思考工程中的问题时过于理论化，缺少工程经验的判断与支撑。”郭博智介绍说，“这要求我们的设计人员要知识全面，专业协调能力要强，学科的综合也变得越来越重要了。我们的年轻设计师也只有经历过一次工程的实践，才能够真正地认识这些‘精灵’，从此就像航空领域里的魔法师一样轻松地驾驭它们。”

2011年3月，各种系统更改的需求都陆续发给失速保护系统供应商RC公司。但是，供应商的更改进度却让申请人并不轻松。

“我们与RC公司都对失速保护系统研制的技术难度认识不充分，在与供应商联合定义阶段，未在系统顶层设计中规定供应商在试飞现场必须具备对系统进行快速调参的能力。所以，导致即便是要对系统进行任何小的改动，都需要发回供应商本部，按取证软件设计流程开展工作。”ARJ21-700飞机航电系统副总师赵春玲介绍说，“这极大地影响了失速试飞的进度，事实上，两年的失速试飞时间了大部分时间都在等待供应商对软件的更改。”

当RC公司给出的更改时间周期让ARJ21项目无法接受的时候，为了让供应商能够更多地调动资源，尽快解决软件升级的问题，郭博智亲自到美国RC公司总部进行高层会谈。

“我甚至要求RC公司更换他们在ARJ21项目上的负责人，因为他始终在忽视我的副总师提出的技术问题，他在阻碍ARJ21项目的进度。”郭博智当时非常严肃地告诉RC公司高层，“如果你们继续忽视我们的感受，继续表现出与你们企业名誉并不相符的技术能力，我保证你会失去ARJ21项目，同时也失去中国的市场，失去与任何一家中国航空企业合作的机会，你应该知道我们具有这样的业界影响力！”

这果然触动了RC公司的高层，他们保证调动资源解决ARJ21项目眼下的困境。RC公司ARJ21项目负责人焦虑地听着郭博智的每一句话，然后紧张地问赵春玲：“你的老板是要杀了我吗？”

“有我们国家的经济实力和高速发展的航空运输市场做支撑，加上国家稳定的商用飞机产业政策，这让我们这些民机人第一次在国际供应商面前说话有了底气，有了话语权。”郭博智坦言，“说实话，这种感觉实在是太好了！”

2011年11月，更改后的失速保护计算机终于装上104架飞机，可就在第一个架次的失速试飞中，飞机忽然出现了极速滚转的现象。

“我们当时被吓惨了，究竟是飞机舵面安装的问题，还是其余什么原因，我们一时没了方向。”李栋成介绍说，“那段时间，机务经常擦飞机，因为我们一度怀疑是由于深秋季节，飞机的机翼前缘聚集了太多的虫子才导致了飞机提前失速……”

最终，赵克良还是解决了钱惠德关心的“负过载”的问题。

“我们调整了推杆器的行程，因为，我们的推杆器是‘一下推到底’的设计模式，升降舵会在推杆的瞬间也偏向最大。由于推杆行程过大，会导致飞机下俯姿态变化大，法向过载偏小，超出规章建议的最小值0g。”李栋成表示，“为了彻底解决‘负过载’问题，我们首先利用了几个架次的研发试飞，摸索出合适的推杆行程，然后，从项目进度考虑，仅更改单一构型下的推杆行程，对于其他构型以及完成的失速试飞结果没有影响，我们既要从根上解决问题，也要考虑用最小的代价来完成任务！”

FAA咨询专家迪夫（Dave）先生说：“ARJ21-700飞机的失速试飞是中国人第一次完整地按现代喷气飞机设计规范进行的，在此领域，世界对于他们已经没有秘密了！”

世界的一切原本由细节构成，如果一切归于有序，决定成败的必将是微若沙砾的细节。

“某种程度上，商用飞机的设计就是追求细节的过程。例如，制造公差1毫米和0.05毫米之间的差距就会让飞机付出更多性能上的代价。但是，一旦关注细节就反映出我们无论是在管理体系还是技术能力上的差距。”赵克良表示，“所以，破译商用飞机的密码既体现在那些我们能够看到的技术问题上，更存在于那些我们暂时还没有看见的地方。而这些地方才是真正的考验，真正的险滩……”

而ARJ21-700飞机和它的研制者们正走在这条征途上。

第五章
解开商用飞机安全性的密码——10^{-9}



17名美国联邦航空局ARJ21-700飞机“影子审查员”所挑选的54项MOA项目的审查结果将直接决定着ARJ21-700飞机获得中美适航证的速度与进入市场的时间

从事商用飞机研制的人都知道这样一句话：研制什么飞机听市场的，如何研制飞机听适航的，而其中的核心就是要解开商用飞机安全性的密码——10^{-9} 。

10^{-9} 是ARJ21-700飞机采用的安全性标准，也是国际航空器适航审定的标准，代表飞机在每飞行1小时内因系统发生故障造成飞机灾难性事件的平均概率是10^{-9} ，意味为“极不可能”。在ARJ21项目研制的12年里，所有人都在做一件事，就是解开10^{-9} ，这个商用飞机的安全性密码，它不仅是我国在商用航空领域始终与商业成功隔岸观火的原因，也体现了我国成为航空强国的现实距离。

究竟什么是10^{-9} ？参与ARJ21项目的每个人都在思考着这个问题。

10^{-9} 是航空业赖以发展的基石

适航是适航性的简称，它并不是出于理论或者学术研究的需要，也不是出于设计、制造飞机的需要，而是出于为维护公众利益、维护公众安全立法的需要。对于飞机设计师来说，10^{-9} 是设计出来的；对于负责航空器适航审定的局方来说，10^{-9} 是验证出来的；而对于公众来说，10^{-9} 是选择航空出行的安全保障。

假如，一个人每周一次往返于北京和上海之间，军用飞机的安全性设计标准是20年发生一次机毁人亡的事故，商用飞机的安全性适航标准是2000年发生一次机毁人亡事故，而目前商用飞机技术水平实际能够达到的是6000年发生一次机毁人亡事故。

之所以选择以10^{-9} 作为标准，因为这是公众、飞机制造商与航空运营商都能接受的行业安全水平，是飞机安全性与经济性的最佳平衡点。

“虽然追求安全永无止境，但是适航条款的标准若高于10^{-9} 则会造成飞机研制成本过于昂贵，导致公众坐不起飞机，从而限制了航空业的发展。”赵越让解释说，“而低于10^{-9} 则意味着在祖孙三代人中，必然有一个人会遭遇空难，这也是公众无法接受的。所以说，10^{-9} 是百年商业航空用血的教训换来的安全性标准，也是民机航空产业可持续发展的基石”。

就运输类飞机而言，国际上最具权威性的标准是美国FAA颁布的适航规章FAR25部，波音、空客以及西方发达国家公司的商用飞机设计均采用这一规章。1985年，中国民用航空局颁布了中国的相应适航规章CCAR25部，目前已历经四次修订。

“虽然社会各界对于ARJ21-700飞机安全性的争议始终没有停止过，但是在ARJ21-700飞机适航审定的过程中，无论是中国商飞公司的每一名飞机设计师，还是中国民用航空局的每一名适航审查代表，都对ARJ21-700飞机的安全性充满信心。”时任上海适航审定中心主任沈晓明解释说：“因为ARJ21-700飞机的安全性是设计赋予、制造实现并被我们适航当局验证所确认的，在此期间，不仅我们局方接受了FAA的‘影子审查’，而且部分涉及公共安全以及环保方面的试验试飞科目还接受了FAA的直审。”

有了可遵循的CCAR25.1309条款，安全性设计就有了目标，飞机设计师在实现这个目标过程中，需要科学合理地运用得到适航当局认可的工程设计流程和方法。

“这些流程与方法包括局方颁布的咨询通告、国际通用设计标准、专门针对飞机机载软件和硬件的专用设计标准以及针对各种环境的试验标

准……”修忠信介绍说，“总之，在ARJ21-700飞机的安全性设计中，这些标准必须得到严格的贯彻与执行，而且过程始终在局方的监控之下，要知道，所有的这些标准与波音和空客公司的飞机所使用的标准是一样的”。

1986年1月28日，美国航天飞机“挑战者”号第10次飞行中因固体助推器密封环失效而引起空中爆炸，造成直接经济损失近20亿美元，7名航天员遇难，航天飞机的飞行也被迫中断近两年，而现在对于航空产品失效分析的研究早已不限于已发生的事故，而是更重视产品失效的潜在因素，探索防止失效的措施。

“在ARJ21-700飞机的设计制造过程中，我们对飞机假设的所有失效状态都用工程分析的方法进行了评估，小到飞机的每一根导线、每一条管路以及每一个接插件，大到飞机的每个系统，以及系统综合后的整架飞机，并且还建立了完整的安全性评估体系，这在国内商用飞机的研制中尚属首次。”上海飞机设计研究院飞机可靠性安全性专业飞机设计师郭强介绍说，“在这个过程中，我们还要探查飞机潜在失效的情况，避免潜在失效与其他失效结合造成危险性或者灾难性状态的发生，所有这些方法的探索与建立，都是从ARJ21-700这架飞机开始的。”

但是，永远不要忘记，商用飞机的安全性是设计、制造出来的，并不是审查出来的，在对ARJ21-700飞机区域安全性检查中，设计人员就列举了一个防差错设计的问题。

“你看，ARJ21-700飞机燃油箱的放油切断阀与辅助动力系统（APU）供油切断阀无论是连接器型号、规格还是编号都是相同的，而且两者相邻安装，间距不足8厘米，这就存在着连接器插错的安全隐患。”郭强一边在电脑上演示，一边介绍说，“虽然，燃油与APU两个系统各自独立的设计都符合安全性要求，但是，将两个系统集成在一起时就出现了安全隐患，我们的工作就是在飞机设计的过程中，通过综合权衡最终将系统集成思想、各层级的需求有效集成，真正落实到飞机所有的功能中”。

1994年6月6日，西北航空公司TU-154M型B2610号飞机执飞西安至广州的2303航班，在起飞10分钟后，飞机在空中解体，坠毁在西安市长安县鸣犊镇。机上人员160名，包括14名机组人员全部遇难。CAAC（中国民用航空局）在对1号前设备舱调查后发现，飞机IIKA-31减震交换平台后面的倾斜阻尼插头(III7)和航向阻尼插头(III8)错插了，结果导致阻尼陀螺感受到的倾斜角速度信号传给了方向舵舵机，而阻尼陀螺感受到的偏航角速度信号传给了副翼舵机。飞机起飞后就出现了飘摆，随后，飞行员感到保持飞行状态已经极端的困难，终于在左坡度急剧下降的过程中，表速和侧向过载都超过飞机强度所能承受的极限值，最终导致飞机在空中解体。

在飞机设计当中，任何细节上的疏忽与差错都将导致灾难性的后果，所有航空史上的教训在为飞机设计师提供设计经验的同时，也令他们备感压力。事实上，对于飞机的系统集成能力始终也被看作是飞机制造商的核心竞争力，10^{-9} 正是检验飞机制造商系统集成能力的标准。

“能否将所有的飞机失效状态找全，分析清楚，而且确定这些失效状态是真实发生的，这个过程中还要始终保证实现飞机安全性与经济性的平衡点。”修忠信表示，“所以，对于飞机设计师来说，10^{-9} 是设计出来的，也是ARJ21-700飞机自主知识产权的体现”。

随着航空技术的飞速发展，商用飞机已经变得越来越复杂，与此同时，飞机的安全性标准也在持续提高，达到10^{-9} 的难度也在增加。“事实上，在商用飞机领域，未必后发者皆有优势，错过了早期商用航空的黄金发展期，对于后来者来说，更多的只有挑战。”罗荣怀说。

FAA计划到2025年将飞机事故的死亡人数减少到现在的一半，CAAC也制定了类似的目标，重要的途径就是不断提高适航规章的要求来提升航空安全。

在ARJ21-700飞机研制的12年间，FAA与CAAC陆续出台了一系列新的适航条款和修正案，例如，要求飞机安装风切变探测系统、防撞系统以及近地告警系统。中国商飞适航管理部高级顾问鲍盼麒介绍说：“20年前，不会有这些条款，它们的出现在提升安全性的同时，也抬高了进入商用航空领域的门槛，无疑也对ARJ21-700飞机的研制提出了挑战。”

“从2006年到2014年，ARJ21的审定基础经历了5次升级，审定条款也变得越来越严酷，由于ARJ21-700飞机设计所采用的适航要求是目前国际上最新的适航要求，所以，大部分条款的验证在国内都缺少完整的可借鉴的方法和程序。”ARJ21-700飞机副总设计师徐有成介绍说，“这就意味着飞机研制的周期越长，带来的挑战也就越多，付出的成本也就越高”。

美国国家运输安全委员会（NTSB）在对以往的空难事件进行调查时发现，飞机在坠毁后10分钟内的信息对于事故原因的调查分析非常具有价值。于是，2008年3月7日，FAA颁布了FAR124修正案，提出在2010年4月7日之后生产的商用飞机需要在飞行记录器上记录所有发送和接收的数据链通信，并且要加装独立的电源，使飞机在断电后，记录器仍然能持续十分钟的工作时间。2011年11月7日，CAAC也颁布了新的CCAR25-R4适航条款，其中对CCAR25.1457条款进行了修订，提出了相应的要求。

“ARJ21-700飞机是2003年申请型号合格证的，那时候适航条款对飞行记录器还没有记录数据链功能以及增加独立电源的要求，但是，2011年

CCAR25-R4生效后，为了给事故调查提供更详细可靠的数据，CAAC要求ARJ21-700飞机必须安装带记录数据链功能的驾驶舱语音记录器以及独立电源。”上海飞机设计研究院适航部部长郝莲介绍说，“这就是适航条款升级给我们带来的挑战，为了满足这个条款的要求，我们进行了大量的机上地面试验和验证试飞，以验证驾驶舱语音记录器在可预期的运行条件下各项功能正常。所以，对于飞机制造商来说，任何延迟都面临着不可确定的风险，可能就在我们延迟的这段时间会有新的适航条款颁布，这意味着我们的飞机必须满足现行有效条款的要求，在这个过程中，如何验证新的条款，或许波音和空客公司拥有技术储备，但是我们没有现成的验证方法可以借鉴，这就是商用航空领域所谓的技术门槛。某种程度上，我们在某些条款的验证上为全世界的飞机制造商探索了经验，因为我们必须按照全世界最新的适航条款进行验证……”

即使适航标准是一部保证飞机安全的最低条款，但条款背后体现的不仅是航空技术的进步，更有着不可忽视的安全性理由乃至人类血的教训。在适航领域内流传着这样一句话：“适航条款的严酷程度是由墓碑的数量决定的”。因此，世界领域内的任何一名飞机设计师都不敢小觑适航条款的重要性，以及航空产品获得适航证的艰难程度。

“事实上，我们用了6年的时间去验证ARJ21-700飞机是否达到了10^{-9} ，验证我们是否破解了这个商用飞机安全性密码，在此期间，没有申请任何一项额外的豁免，所有的这一切都是为了保证ARJ21-700飞机是安全的。”谢灿军介绍说，“在我看来，10^{-9} 就是我们民机人对公众生命安全保证的工程阐释。”

“虽然10^{-9} 是以行业标准的形式存在，但归根结底，它代表的是商用飞机制造商的技术实力与企业的道德心。”罗荣怀介绍说。

最具争议的试验

2012年6月19日，从凌晨开始，中国飞行试验研究院的跑道上就陆续进入了各类车辆，除了参加试验的科技人员，还有很多人是来观摩ARJ21-700飞机进气道溅水试验第一次预试的。

这是国内首次按照CCAR25部条款要求进行的商用飞机全机级溅水试验，至于如何组织试验，以及试验的结果怎样，不仅牵动着ARJ21-700飞机型号申请人的心，甚至也引起了国内大型飞机研制厂商的关注，因为在此之前，我们国家在此领域没有任何工程数据和经验可以借鉴。

在这些人里面，真正承受压力的只有两部分人，一部分是ARJ21-700飞机的研制者们，而另一部分人则是作为ARJ21-700飞机型号合格审定审查组

动力装置专业组的审查代表们。

在此后的8天时间里，ARJ21-700飞机面临着史无前例而且试验条件极为苛刻的极速考验，与此同时，整个试验过程还要接受FAA“影子审查组”的全程目击。

“他们不仅要对此次试验做出评价，更为重要的是还将对CAAC的适航审查能力做出关键性的评估，”上海飞机设计研究院副院长李玲介绍说，“这些结论不仅关系到ARJ21-700飞机取得型号合格证的进展,更将影响着中美适航双边协议签订的进程。”

原定于6月15日进行的溅水试验预试还是推迟到了19日举行，而在当天晚上，FAA的审查代表也来到了现场，几乎没有给申请人预留任何调整的时间，这也就意味着在19日的预试中，一旦飞机出现损伤，一旦用于试验的水池出现破损，那么FAA也就无法按照预期进行目击试验。所以19日的预试变得非常重要，远远超出了工程研发试验所包含的内容。

尽管相对于失速与颤振试飞这些高风险试飞科目来说，中国商飞公司不用担心在此次试验中会失去ARJ21-700飞机，但这仍然是一个国家II类风险的试飞科目，ARJ21-700飞机依然会面临着冲出跑道和机体受到损伤的风险，关键是这些损伤将出现在哪里？

即使在之前一年多的时间里，中国商飞公司与CAAC就试验本身设想了无数种情况来避免风险，但是没有经过工程试验，没有人真正知道，当ARJ21-700飞机在最大起飞重量的构型下，以240公里每小时的速度冲过积有12.7毫米（最深处达到40毫米）的水池时，飞机轮胎卷起的水会以怎样的形式、多大的力量打到ARJ21-700飞机的哪些部位上？吸入了大量水后的发动机是否还能正常工作？飞机的机体结构是否会受到损伤？这种损伤是否还能修复？即使那些已经处于风险之中的专业，在试验之初，成员们似乎也没有真正意识到自己的系统将要接受怎样的考验。

总之，只有在试验结束后，工程人员才能通过数据分析得出结论，而在ARJ21-700飞机冲进水池之前，一切都是空白！

“唯一可以肯定的是，按照CCAR25部的要求，在整个试验中，发动机一旦出现熄火、喘振以及振动值异常等情况，进气道溅水试验就将被判定失败，随之而来的是，ARJ21-700飞机的取证之路将变得更加艰难。”上海飞机设计研究院动力燃油部郑辰介绍说，“因为，这是一个全机级的试验，每一项改动都将对全机产生重要的影响，尤其是涉及飞机轮胎的构型。”

“我们的试验目标是在临界速度下，也就是飞机轮胎产生对发动机最大喷水量的速度下来检验发动机的工作状态是否非常稳定，没有发生任何异常。”ARJ21-700飞机型号合格审定审查组动力装置专业组审查代表李红琳介绍说，“如果溅水试验获得成功必将提振中美两国适航当局对ARJ21-700飞机的审定信心。”

对于ARJ21-700飞机临界速度的判断成为溅水试验首要解决的问题，然而，对于缺少工程经验的申请人和第一次参与审定此项试验的审查代表们来说，如何对试验点进行确定与取舍，成为他们共同面对的挑战，也成为此项试验有效与否的关键所在。尤其是在FAA“影子审查组”的目击之下，CAAC的任何决策都显得异常慎重。

根据相关资料显示，波音公司在进行同类试验时只进行6～8个点的测试，在四个小时之内就全部完成试验，而且这些点都集中在速度较低的状态中。“这些就是波音公司在工程试验中试验出来的，FAA可以通过这些证据来认可他们对于临界状态的判断。”ARJ21-700飞机副总设计师常红却不得不面对缺少工程数据带来的挑战，“而我们目前没有这种工程积累，拿不出可以支撑我们对于临界状态判断的直接证据，在这种情况下我们就比较被动，必须通过工程试验的方式来确定。”

“虽然我们采用的是国际上通用的试验方法，但是由于我们没有工程数据的积累，能够直接证明我们选择的状态就是最临界的状态，所以，我们唯一的方法就是加大试验的密度。”时任上海飞机设计研究院动力燃油部副部长戚学锋介绍说，“我们总共规划了11个取证试验点，飞机要从50节一直增速到140节抬前轮的速度，以达到验证条款的目的，而这样带来的直接影响就是试验时间与试验成本的增加。”

按照试飞计划，在19日的预试中，试飞院安排了三个试验点，分别是60节、80节与120节。“我们需要通过三次试验的溅水情况找出最危险的临界速度，也就是对发动机产生最不利影响的临界状态，这是我们试验的目标。”但在郑辰看来，这三个试验点的选择相对保守：“至于这种危险状态在哪里，我们之前没有工程数据来支撑我们的判断，只有ARJ21-700飞机冲出水池之后，我们才能填补这个空白。”

参与试验的每个人都非常清楚，多增加一个试验点就多增加了一份试验的风险，没有人知道在下一秒中会发生什么。然而，这就是ARJ21-700飞机和他们的研制者们，作为中国民机事业的先行者所要承担和必须承担的压力与风险。

对此，中国民用航空局上海航空器适航审定中心动力装置室主任李新表示说：“这次我们审查组坚持要多做几个数据点也是出于积累工程数据的考

虑，通过一次试验多留下一些数据，例如水溅起的形态、在飞机大翼上溅起了多宽等，这些数据的采集对以后进行计算都有帮助。在目前这种情况下，不要仅仅为了取证而做个试验，还要考虑到未来的技术积累，中国自己的工业基础还是要靠自己的工程一点点积累起来。”

一个长100米、宽8米的水槽搭建在试飞院3600米长的跑道上显得微不足道，而12.7毫米的水也只是薄薄的一层铺在水槽里，但是常红与戚学锋却对目前的试验条件充满担忧。

“按照CCAR25部条款的要求，试验中应保证90%以上的水面水深不低于12.7毫米，水池的长度需保证飞机进入水池后可保持至少一秒的溅水形态，宽度需保证飞机所有起落架机轮同时进入。”常红一边跟随着CAAC制造符合性代表检查水槽中的水量，一边解释着自己的担忧：“由于我们目前跑道存在着倾斜度，所以，在水槽中最深处的积水已经达到了40毫米，这对我们的发动机是一个非常苛刻的考核条件，发动机的进水量会太大了。”

溅水试验是商用飞机最具有工程观赏性的试验之一。试验开始后，所有人员全部撤到了跑道边上的草丛里。6月的阎良已经非常炎热，草丛里飞起的小虫子黑压压的一片，成群结队地追着人咬。为了能够完整地记录试验情况，试飞院甚至采用直升机进行航拍，几乎所有的部门都参与了试验，试飞院组织大型复杂试验的能力也在经受着考验。

“在咨询FAA专家时，我们意识到绝大部分的情况我们都已经考虑到了，有些问题甚至考虑得比FAA还会更细。例如，我们在试验中设置了一台发动机引气，另外一台发动机不引气，实质上这种状况是更为严酷的考核条件，在这种情况下发动机极易发生喘振，而且，在考验我们发动机性能的同时还能考核环控系统的性能，这就是我们比波音公司、空客公司在做此项试验时考虑得更细的地方。”在进行风险性最大的起飞构型——120节速度的试验点时，一向沉稳的戚学锋也显得有些担心，“要知道，我们毕竟缺少实战的经验，而工程只有试验才能说明一切”。

工程人员在ARJ21-700飞机发动机进气道，机翼以及突出在飞机表面的空速管以及风标上都涂上了水溶性的红色涂料，审查代表可以通过颜色被冲刷的情况来判断水溅起瞬间的情况。

为了能够清楚地观测到发动机进水的情况，设计人员都站在最佳观测的地方。当ARJ21-700飞机以120节的速度冲进水池时，飞机轮胎溅起的水足有10米高，已经超过飞机平尾的高度，大量融合了红色涂料的水雾从发动机里被甩了出来，溅起的水雾甚至已经喷溅到了观测区，观摩试验的人员不禁发出惊呼，直到飞机完全刹停时，发动机没有出现任何异常响声，这

是试验成功与否的一项关键判据。

在场的人们开始自发地鼓掌，因为这个试验点结束后，设计人员拿到了足够的证据来判断临界速度。

“所幸的是溅起的水是打到发动机短舱后向两面分离，没有继续向后打到飞机的平尾上而对飞机的操纵性产生不利的影响。”常红对试验的结果已经有了充分的信心，“因为这是一项填补国内空白的试验，前期的确不知道会是怎样的一个结果，但目前这个结果还是令我很震撼。”

但是，这种震撼在试验后对ARJ21-700飞机的检查中却以另外的形式震动着科研人员的内心。机务人员发现，在水的冲击下，主起落架整流罩壁板I外蒙皮变形翘起；中后机身右侧下壁板变形翘起；左发进气道整流罩一处漆层脱落同时复材表面破裂；后货舱门手柄脱开。直到这一刻，所有的参试人员可以说才真正意识到了这项试验的风险和带给大家的意义所在。

不仅如此，FAA“影子审查组”代表也一再强调：“前轮导水槽的设计使进入发动机的进水量太大了，这并不是一种理想的设计形式。”

对此常红坦言：“这会让我们以后在飞机总体布置、起落架和轮胎的选型，各个方面都会综合考虑一些因素。通过试验得出的经验还是相对被动很多，如果我们能在设计之初就考虑到这些问题，就会避免很多问题的出现，但是最终还是要通过试验来验证一切。”

在当时，谁也没有意识到“发动机的进水量”会成为判断溅水试验成功与否的一项关键依据。

“这就是做过工程试验和没有做过工程试验的根本区别，很多东西是想象不到的，必须去试验。”对于这些超出预期判断的损伤，李新则认为：“这就是ARJ21-700飞机留给我们乃至中国民机发展的重要经验，也是其价值所在。”

2012年6月28日20时35分，李红琳在467机库二楼会议室宣布：“从判据来看，我们在溅水试验中没有出现发动机熄火、喘振，发动机工作状态稳定，没有出现任何异常，基本判断溅水试验是合格的。”CAAC和FAA对试验进行了全程目击，试验数据有效，但是对试验的结论和对规章的符合性还要依据最后的数据分析。

一向严谨的局方试飞员张放在航后的讲评中首先称赞试飞院课题组对于飞机起滑点的计算非常准确，保证了试验的成功：“8天的试验，8天的考验，我与申请人试飞员刘洪亮大队长的配合非常好，发动机工作状态稳

定，飞机可控，ARJ21-700飞机经受住了考验。”

直到这一时刻，李红琳才释放了些许的压力：“作为审查代表，在整个试验过程中，我们关注最多的就是安全问题，以及是否把所有的情况都考核到了。有很多时候，这种工程判断是非常艰难的，不仅需要本专业的知识，更需要其他专业的共同支持。”

FAA“影子审查组”代表的审定能力也给李新留下了深刻的印象，“他们关注的问题更为务实，会对试验中现实发生的问题进行分析，当然，这得益于FAA已经建立起了完整的适航审定体系，这个体系能够很好地发挥作用。每个FAA审查代表背后都有大量的数据库和工程经验来支持他们在现场审定中做出判断，而目前我们是缺少这个体系的，很多情况下是靠我们个人的知识积累而不是数据库和审定体系来进行判断，这是有很大难度的，也正是我们的差距所在。”

尤其是在目前FAA“影子审查”阶段，CAAC审查代表的决策很多时候都不得不显得有些保守。在李新看来，FAA“影子审查”对于提高中国局方适航审查能力更有其积极的一面，“无论是对于CAAC还是对于中国航空工业方，在ARJ21-700飞机适航取证的过程中，我们要同时承受成长的压力。对于中国民机产业的发展，这个压力是非常值得去承受的。”

FAA“影子审查组”代表在全程目击试验后，终于表达了自己的感受：“非常荣幸能够目击ARJ21-700飞机进气道溅水试验，通过目击，我们对申请人的试验组织程序有了新的了解。从试验的现场情况来看，发动机经受了非常苛刻的考验，依然表现出了卓越的性能。希望ARJ21-700飞机未来的每项试验都能获得成功，ARJ21将成为一架安全和成功的飞机!中美两国局方的友谊也将走得更加深远。”

“应该说，这个试验过程还是成功的，但也检验出我们很多的不足和ARJ21-700飞机其余系统存在需要改进的地方。”尽管试验取得了成功，常红却难掩内心些许的遗憾，“这个试验最大的意义是为中国商用飞机研制积累了经验，我们下一步希望通过这个过程能够制定出一些我们国家自己的标准，如果这些经验能够得以总结，将会对C919大型客机的研制起到有效的借鉴作用。”

试验结束后，戚学锋虽然释放了一些紧张的压力，却看不到一丝的轻松。在他看来，此次试验的教训远比成功更有意义：

“首先，通过此次试验我们树立了信心，进气道溅水试验是一个全机的试验，我们并不能从发动机供应商那里得到太多的试验方法的借鉴，后来我们借鉴了FAA的资讯通告，但是内容比较简单，具体的试验细节都没有，

所以，我们只能根据自身对条款的理解提出我们的试飞要求。但是，现在来看，我们和CAAC都没有经验，这就导致了我们会想象出很多的情况和问题，我们应该学会多用工程的方法来进行试验。”

“其次，一次成功的试验离不开相互之间的配合。无论是申请人内部的还是与审查代表在技术层面的沟通，我觉得局方非常敬业和用心。”

“最后，也是最重要的，通过这次试验，无论是局方还是申请人都学会了用全局的思维来考虑问题，而不再仅仅将目光局限在自己的专业。一开始，我们总是强调这是进气道溅水试验，其实这是一个全机的试验，应该全机的系统都提出检查的要求，而不仅仅是考核发动机，尤其是飞机的舱门、起落架系统、空速管、风标、机翼下方作动器的盒子等，一旦这些地方出现了问题，我们都将会面临很大的困境。但是，当时大家都没有这种意识，没有考虑在溅水的情况下会对飞机的系统和结构产生怎样的损伤。最终试验给我们提供了一个难忘的教训，我们的货舱手柄和机腹蒙皮都受到了损伤，虽然这些并不影响此次试验的判据，但是，这是我们缺少全局思考问题的表现。我们很幸运，像空速管这样的系统没有受到伤害，不然，我们进行过的相关试验都将受到影响。所以，我说我们此次的教训远比试验成功更有意义。”

“另外，这次试验的意义还在于，我们锻炼了年轻的工程团队，他们身上有非常可贵的品质。”常红对技术团队的表现非常满意，“首先他们很刻苦，求知欲非常强，参与的欲望也非常强，这两种精神是能将工作做好的基本精神，只有热爱才能投入很大的精力和耐心来做这样的事，在试验大纲的编制和试验构型的确定期间的确需要极大的耐心”。

事实上，溅水试验的成功的确对ARJ21项目的进展至关重要，在当时，无论是申请人还是CAAC都需要一次成功的审定来树立双方对于ARJ21项目的信心，乃至FAA与CAAC之间的互信。

但是，就在那天晚上，当申请人还在对溅水试验的成功进行庆祝与反思的时候，FAA的审查代表却为CAAC留下了一封与在试验后所表达的内容截然相反的邮件。

那封邮件只发送到很小的范围内，大致内容是负责溅水试验的FAA审查代表在试验结束后咨询了FAA其余专业的审查代表，最终认为ARJ21-700飞机的溅水试验是失败的。因为，FAA关于溅水试验的咨询通告版本比较陈旧，目前，EASA相关条款的咨询材料中要求，为了确保飞机在污染跑道条件下的安全运营能力，应避免轮胎卷起的水直接进入发动机引起危及飞行安全的推力损失、喘振、熄火等发动机不良工作特性，而ARJ21-700飞机的轮胎卷起的水大部分进入了发动机，所以按照EASA的标准，

ARJ21-700飞机溅水试验是失败的……

“其实，在溅水试验的过程中，FAA的审查代表的确一直在强调这个问题，在对数据进行分析后，我们也认为FAA的判断是有一定道理的，未来ARJ21-700飞机投入运营中后，前轮卷起的东西是有可能被甩进发动机造成危险的。”李新表示说，“无论是FAA还是CAAC，我们关注的都是安全问题，这是适航审定的核心意义所在，FAA的经验更在于能够将安全的问题进行综合考虑，甚至考虑到如何避免次生灾害的发生”。

但这样的审定结果却让申请人感到不公平，甚至来自美国航空业内的咨询专家也并不赞同FAA的看法：从对试验的数据进行分析来看，即使进入了大量的水，但ARJ21-700飞机发动机转速在飞机离开水池之前就已经恢复，发动机其余的响应是正常的，发动机能否正常工作应该是我们判断的核心。发动机转速的多次波动，可能是由于试验用的水池水深超过了12.7毫米导致的，水池的最深处已经达到了40毫米。至于FAA审查代表提出的咨询通告版本较旧的问题，如果FAA对溅水试验有更严格的适航要求，FAA就有义务对现行有效的咨询通告进行更新并且正式颁布后，才能用新的适航要求来考核ARJ21-700飞机，否则这样的审定对中国商飞公司和ARJ21-700飞机都是极为不公平的。

“我们也协调了发动机供应商美国GE公司对溅水试验过程中发动机转速波动问题进行分析和评估。”常红介绍说，“GE公司认为，在控制系统的作用下，发动机的转速可在不到一秒的时间内开始恢复，因此，GE公司认为进气道溅水试验过程中发动机响应正常，进气道溅水试验是成功的”。

“我们的适航管理人员甚至找到了欧洲航空安全局（EASA）制定此项条款的专家就咨询资料（AMC）中有争议的内容进行了讨论。”罗荣怀介绍说，“他们认为，条款的内容只是要求飞机进行相应的试验，以允许飞机在积水跑道上运行，并不是要求发动机进气道完全不进水，尤其是尾吊布局的发动机在溅水试验中不进水是不可能的……”

但是，在溅水试验结束后不久，各种各样的飞机轮胎还是摆进了吕军的办公室，全国研究轮胎的专家都被吕军邀请了过来，他们要为ARJ21-700飞机寻找一个更为理想化的轮胎。“虽然我们与CAAC对条款的解释存在争议，但是，我们必须按照CAAC的要求来改进我们的设计，不然我们就无法获得适航证，无法让飞机进入市场，这就是适航条款的法律性与严肃性。”吕军抱着一个飞机轮胎说，“作为新的申请人，作为商用飞机领域的后来者，我们不是标准的制定者，只能更积极地看待这样的事情……”

如何才是一个好局方

2012年4月14日中午，申请人试飞员、试飞员学院科研飞行部副部长赵明禹与副驾驶高卫东在做着试飞前的准备，他们要在ARJ21-700飞机101架机上执行“最大可用速率抬前轮—模拟单发”的试飞科目。

“在当天的试飞中，我们把更多的精力都放在如何以最快的速度将飞机的俯仰姿态拉起来，如何在飞机起飞的瞬间将飞机稳定在不擦尾的状态，如何在飞机达到决断速度的瞬间快速地将油门杆收到慢车位以模拟飞机的单发状态……”赵明禹介绍说，“虽然这不是一个风险试飞科目，但是，需要试飞员综合考虑的试飞动作却很多，那个时候，我们并不知道接下来将要面临的风险。”

12时56分，高卫东快速地将油门杆收到慢车位以模拟飞机的单发状态，随后，赵明禹拉杆准备起飞，但他们感觉ARJ21-700飞机并没有离开地面，似乎没有飞起来。

“我感觉飞机就像在跑道上‘飘着’，告警信息显示发动机的反推已经打开了。”赵明禹依然清楚地记得当时的细节，“当时，我们没有时间去反应反推机械锁是如何突破进入反推行程的，因为飞机的状态已经到了起飞的决断速度，跑道只剩下很短的距离，我们已经不能中断起飞，只能将飞机拉起来……”

在塔台上，所有人都看着ARJ21-700飞机摇摇晃晃地擦着树梢，就“飘在”一树之高的空中，而前面还有高压线和村庄，距离繁忙的咸阳国际机场也不过100多公里。

“我试着加大油门，但是飞机没有响应，因反推在空中没有收起的逻辑，整个飞行过程中反推就一直处于打开的状态。只要我稍微增加飞机的姿态，飞机就开始抖杆，有进入失速的危险，但是不增加飞机的姿态，飞机就不能增速……”赵明禹介绍说，“因为前边就是咸阳机场，我必须依靠飞机累积的能量让飞机逐渐实现转弯，同时我也在寻找合适的备降场。只过了很短的时间，飞机的能量就开始逐渐上升，这说明我们所有的操作没有让飞机损失能量，当飞机渐渐地转过弯之后，我们关闭了右侧的发动机，因反推打开所产生的负拉力也就随之消失了，而处理单发飞行状态对于我们试飞员来说就不再有任何风险……”

2012年4月14日13时18分，赵明禹驾驶着ARJ21-700飞机降落在试飞院的跑道上。“我的教员曾经说过，如果在空中遇到反推打开的情况，那将是灾难性的，没想到我们真的遇到了……”赵明禹介绍说，“如果事先知道反推打开的逻辑，我们会选择在地面的时候就中止起飞。”

飞行结束后，常红照例收到了吴坚发来的红色特大号字体的邮件：“我们

审查组的态度明确，任何时候试飞安全都是第一位的！”随后，所有与单发有关的试飞科目全部被中止了。

发动机中的低压压缩段带动风扇旋转，在飞机着陆后可较快地减速，缩短跑道长度并使飞机安全性大大提高，正是反推的出现使飞机的着陆性能有了质的飞跃。

“我们对当天的试飞数据进行了分析，并且结合试飞员的评述，认为造成反推意外打开的原因是试飞员在地面快速收油门杆导致油门杆突破了反推机械锁，从而进入了反推行程。”常红介绍说，“油门台的供应商RC公司也组织设计人员对油门台进行了操纵检查，事实上，油门台机械锁的设计初衷恰恰是为了防止油门杆操纵时意外进入反推行程。”

油门台机械锁的工作原理在于油门台在正推行程和反推行程有两条独立的滑轨，在滑轨交界处（慢车位置）设置有一个机械止动面。“在进行反推行程操作时，试飞员需要先提起油门杆上的反推扳机，使得与反推扳机相连的滚柱越过机械止动面进入反推行程，在不提反推扳机的情况下，机械止动面将滚柱挡在慢车位置，油门杆不能移动到反推行程。”常红介绍说，“为优化反推扳机的操纵力，我们在机械止动面上设有倾角，正是这个倾斜角的存在，使油门杆在极快速移动到慢车位时，滚柱撞击止动面后产生一个向上的分力，越过机械止动面，造成油门杆突破反推机械锁从而进入了反推行程。”

RC公司工程师加里·A.斯帕克（Gary A.Spark）对此解释说：“我们称这种现象为‘冲击突破’，只有在反推电子锁打开的情况下才会出现，而反推电子锁是绝对不会在空中打开的。”

“ARJ21-700飞机与巴西航空工业公司研制的Embraer-170/190飞机采用的是同一款油门台，我们认为发生‘冲击突破’问题的概率小于10^{-9}，在超过600架安装该型油门台的巴西航空工业公司的Embraer-170/190飞机上，仅有加拿大航空公司的油门台于2004年9月出现过一次‘冲击突破’问题。”RC公司工程师斯帕克介绍说，“我们对此进行了分析，认为这是操纵问题而非设计缺陷问题，不会造成安全性影响，FAA从未提出关注该问题的要求。”

中国商飞公司外籍飞行员凯文·帕克（Kevin Parker）和埃弗斯（OJ Evers）也认为，飞机在地面从发动机高功率状态快速后拉油门杆的动作，通常只会在中断起飞或者模拟单发动作时才会遇到，而在正常的航班飞行中是不会出现这类情况的，可以通过对航线飞行员的培训来避免出现这种情况。

但是，CAAC并不认同中国商飞公司的观点，他们认为现有油门台的设计存在缺陷，留有安全隐患，必须得到更改。并且审查组不希望申请人再列举巴西航空工业公司Embraer-170/190飞机的例子，因为这会伤害CAAC与国际同行间的合作与交流。

这些观点令设计人员感到沮丧，他们甚至觉得即使在自己的国家，在自己的局方面前也没有享受到与国际飞机制造商平等的商业地位与公平的待遇。

一位航空业内的专家说："我们与Embraer-170/190飞机采用的是同一款油门台，既然CAAC要求ARJ21-700飞机的油门台必须更改，那么，CAAC也应该要求Embraer-170/190飞机做出同样的更改，不然，就对ARJ21-700飞机不公平，毕竟它是参与市场竞争的商品。但问题的关键在于，这是否是CAAC迫于FAA'影子审查'的压力以及航空安全形势所做出的保守决策。"

"最终，我们还是对油门台反推机械锁滑轨止动面的角度进行了更改。但是，止动面角度变小可能会增加反推扳机提起力，影响飞行员的操纵品质。"常红解释说，"为此，我们进行了大量的验证试验，包括供应商在试验室进行的验证试验和油门台试验件装机后的验证试验，这让我们付出了时间与经济上的成本"。

2013年8月20日，在ARJ21-700飞机101架机上进行了油门台装机验证试验，包括试飞员、机务人员和试飞工程师在内的9名志愿者参加了试验，进行了油门台动态突破检查试验、油门台静态突破试验和提起力影响试验，结果表明，更改后的油门台未发生反推机械锁突破问题。

"新构型油门台在104架机上完成安装，经过多次地面试验和试飞，再未出现油门杆意外进入反推行程导致反推打开的现象。"白永宽介绍说，"2012年5月12日，101架机在停飞近一个月后恢复了试飞，这的确对ARJ21-700飞机的试飞进度产生了很大的影响"。

在工业部门内部的一次评审会上，一名航空业内的老专家问CAAC的审查员代表："我想知道，你们也是这样评审中国航空公司引进的国外飞机吗？如果你们是这样审定的，那我会乘坐国外的飞机；如果你们不是这样审的，那我一定会坐ARJ21-700飞机，因为，它是用最苛刻的方式证明了自己的安全性，证明了中国飞机的品质。"

一位航空业内的观察人士认为，那段时间，ARJ21项目部分审查组领导的风格并没有完全体现在技术层面，而是更多地将精力用于关注FAA高层对ARJ21项目的态度。很多来自非官方渠道、未经证实的信息，甚至一度成

为审查组做出某些重要决策的基础，而事实上，只有技术层面的自信与实力才能真正在FAA、在国际同行面前获得话语权，才能成为获得适航双边最坚实的基础。

“这是我们中国商用飞机产业成长过程中必然要遇到的苦难和挑战，无论是工业部门还是我们局方，在最艰难的时候一定要坚持下去，任何挫折都会丰富我们的经验，都会让我们迎接最后的成功。”时任中国民用航空局适航司司长张红鹰介绍说，“有些事，如果我们现在不做，我们的后代就将永远失去机会……”

毕业于北京航空航天大学发动机系的张红鹰一直备受工业界的尊重与信任。2010年3月，就在召开FAA“影子审查”的“开球会”的前一天，张红鹰和罗荣怀避开了所有人，两个人躲在一家小店喝啤酒，张红鹰要和罗荣怀签订一个“共同承担痛苦”的君子协议。

“ARJ21-700飞机想要飞向世界就必须获得FAA的适航证，这是我们工业方的选择；而以ARJ21-700飞机作为FAA‘影子审查’的载体，拓展中美适航双边，这是CAAC的选择。”罗荣怀回忆说，“这意味着，无论是ARJ21-700飞机，还是CAAC的适航审定能力都将在这个过程中接受挑战，我们都知道这必定是一个充满艰辛和痛苦的过程。”

当时，张红鹰对罗荣怀说，“CAAC一定会严格审定ARJ21-700飞机，你现在后悔还来得及，但一旦召开了FAA‘影子审查’的‘开球会’，我们就不能言退，必须将这条路走到底。”

“绝不言退！”罗荣怀说，“这就是我们的君子协议！”

在一次ARJ21-700飞机型号合格审定委员会的会议上，张红鹰语重心长地说：“在飞机的适航取证过程中没有捷径可走，这个过程是非常痛苦的。FAA拥有80多年的执政历史，他们的适航标准已经成为世界的通用标准，ARJ21-700飞机也代表着我们国家的工业水平，这两者之间存在一定的差距。但是，获得FAA的适航证是中国航空工业方的选择，作为中国局方，我们在接受FAA“影子审查”的这条路上，已经遇到了很多难以想象的困难，但我们愿意与ARJ21-700飞机“共同承担痛苦”，这是我们必须承担的历史责任。”

2012年4月13日，张红鹰乘坐ARJ21-700飞机进行了体验飞行，“作为CAAC适航司的负责人，我亲自上机体验飞行，对ARJ21-700飞机的信心已经无须再用语言来表达了，行动就是最好的证明”。

那个时候，正是ARJ21项目进行得最艰难的时刻，一方面是社会对于

ARJ21项目延期以及飞机安全性的质疑；另一方面则是工业方与局方碰撞与磨合的艰难时期……

“任何一个国家的适航审定能力都是依附于制造业之上的，欧美各国均是如此。”张红鹰介绍说，“只有拥有强大的航空制造业，才会催生出权威的适航审定体系和审定能力；也只有飞机制造商不断使用新材料与新技术，不断地推出新机型，才会迫使局方不断提高自身的能力来满足工业方以及公共安全的需求。”

“由于历史原因，我国的商用飞机产业一直处于摇摆的状态，这也直接导致我国适航审定基础薄弱，相应的体制与机制不健全，导致我国在制定适航标准的话语权方面，更多的是采用‘跟随’战略，只能借鉴国外先进适航标准来帮助制定和修订我国的适航标准，在技术上无法掌握话语权。”张红鹰介绍说，“在此背景下，我国在适航审定能力的建设过程中，一方面，由于缺乏工业实践，所以不能在适航标准制定之前充分参与;另一方面，由于适航审定系统缺乏必要的技术手段、试验设施，所以不能在适航标准制定之后充分地验证，面对适航标准的制定，就存在‘知其然，不知其所以然’的困境。”

事实上，在ARJ21项目的早期，CAAC也经历过一个伤心的过程，大部分时间都是CAAC在推着工业部门建立适航意识，甚至将适航司副司长赵越让输送到中国商飞公司，来提高工业部门的适航理念与适航体系的建设。

“如果你想帮一个人，你在这个人面前往往是没有地位的。”赵越让经常说，“越是大的变化越需要等待，但一旦开始变化，必将是脱胎换骨的，而我们这些正处于变化之中的人，一定是备感煎熬的……”

事实上，伴随着项目的进展，每个人对ARJ21-700飞机的性能与安全性都加深了了解，也更增强了信心。无论是CAAC还是中国商飞公司在各种场合都一再强调，虽然双方都非常重视ARJ21-700飞机的取证进展，也能感受到申请人所面对的市场竞争与进度的压力，但是，必须保证ARJ21-700飞机的飞行安全，必须向客户交付一架达到适航标准的飞机。

ARJ21-700飞机型号合格审定委员会成员、民航科学技术研究院适航研究所所长路遥时常会问自己，“怎样做才是一个好的局方，如何才能在公共安全与扶持本国航空制造业之间，寻找到最佳的平衡点……”

为了减少申请人在噪声试飞中的飞行起落数，缩短试验周期并降低成本，ARJ21-700飞机工程审查代表金奕山已经记不清这是自己第几次帮着申请人修改噪声试飞的大纲，他的对面就坐着一群年轻的飞机设计师，正带着忐忑的心情看着他。

“这就是我国商用飞机产业的现状，这些年轻的飞机设计师往往承受着与他们年龄与经历完全不符的压力与责任，大多数没有工程背景与工程经验，他们要与ARJ21项目一起成熟，作为ARJ21项目的审查代表，在维护公共航空安全的同时，我也有义务帮助他们走向成熟。”

一次在西雅图举行的中美局方技术交流会上，面对FAA针对ARJ21-700飞机失速试飞的提问，钱惠德再次冲出了“战壕”：我接受申请人的观点，我认为这个科目的试飞是成功的……做出这个判断后，钱惠德感觉很轻松，“是的，所有的技术问题我们已经考虑清楚了，至于FAA要为我们亮什么颜色的灯，如何评估我们的能力，我想已经不是技术层面所决策的事情了……”

事实上，如何推动我国商用飞机产业的发展？这是钱惠德一直在思考的问题。

“首先是‘三融合’：理念和意识的融合，规章和程序的融合，方式和方法的融合；其次是‘三促进’：通过适航审定来促进，通过航空器评估组的评估来促进，通过市场反馈的使用问题来促进；最终实现ARJ21-700飞机被市场认可，形成国人对国产商用飞机品牌的忠诚度。”钱惠德介绍说，“我知道，这其中的每一个改变都很艰难，但我希望所有的改变都能从ARJ21-700飞机开始……”

地面上墓碑的数量决定着适航标准的建立

“适航标准是用生命和鲜血换来的, 是没有知识产权限制的商用飞机产业的宝贵知识，是我国商用飞机产业走向世界的重要知识源泉之一，也是商用飞机产业可持续发展的基石……”如果有人愿意听，赵越让能说上一整天关于适航的理念！

在美国，运输业发生的重大事故由专门机构负责调查，这个机构就是美国国家运输安全委员会（NTSB），NTSB事故调查报告正是FAA进行适航标准制定及修订时的重要参考资料。

FAA适航标准的每次修订都有其安全性理由，且伴随着技术原因或者对惨痛教训的总结，是在民用航空工业技术发展的历史中凝结出的、保证公众利益的最低安全要求。

1991年3月3日9时44分，联合航空公司一架波音737飞机（585号班机）在向科罗拉多州斯普林斯机场35号跑道近进转弯后不久，机体逐渐向右倾斜，且机头朝下几乎呈垂直状态坠毁，造成乘客与机组人员全部罹难的重大事故。

是否有给飞机带来危险的气象现象存在？飞机的飞控系统是否有故障？方向舵的主动控制器设计上是否有问题……NTSB对这些事故的调查长达21个月。

“调查人员一开始认定机械故障是飞机坠毁的主要原因，由于飞机突然向右倾斜直至坠毁，因此，调查人员集中调查是否垂直尾翼的方向舵出了问题。”中国商飞公司适航管理部部长卓刚介绍说，“调查人员取出方向舵内的液压器，可是，装置内没有曾经磨损的痕迹，装置内的润滑油也没有异样。”

调查人员转而向天气因素进行研究，资料提示，飞机在航程中曾遭遇过不稳定的气流，而当天机场附近也有强烈的回转气流，可是，这些简单因素都被认为不足以导致如此严重的空难。随后，调查人员又将调查方向转向是否是人为错误导致的空难，他们聆听了飞行记录仪，发觉机组都没有致命的错误。

因此，NTSB公布的第一份调查报告中只是表示：NTSB经过彻底的研究，无法找出决定性证据去证明联合航空585号班机失事的原因。报告中并没有给出最终的结论，这次空难事故成了当时航空业界的一桩悬案。

1994年9月8日，一架编号N513AU的全美航空波音737-3B7客机（427号班机），正准备在匹兹堡国际机场28R跑道着陆，当时天气晴朗。当这架飞机通过达美航空公司一架波音727客机留下的尾波紊流时，突然在距离跑道10公里处向左转，随即飞机失控开始向地面俯冲。机组人员对突如其来的失控手足无措，尽管他们尽了最大努力挽救飞机，最后飞机仍以近乎垂直的姿态，猛烈坠毁在比佛县的一处森林中，机上127名乘客及5名机组人员全部罹难。

NTSB调查人员忽然意识到，出事班机的坠毁方式与三年前联合航空公司585号班机非常相似：都是降落前突然失控，失控方式都是方向舵突然失控、偏向，并像是被卡住，唯一的区别是427号班机坠毁时的天气晴朗并没有气流。

由于飞机以垂直方式坠毁，因此，飞机方向舵及黑盒都几乎保持完整。调查人员取出方向舵的液压装置，可是找不出该装置曾被卡住的迹象。调查人员将注意力转移到机组身上，根据黑匣子记录显示，副驾驶在飞机出事直至坠毁时，一直紧踏控制方向舵的踏板，因此一度怀疑副驾驶蓄意坠毁客机，可是调查人员在聆听通话记录时发现副驾驶显然是想挽救飞机，然而飞机却原因不明地失控。

调查再度陷入僵局，专家都找不到导致两宗空难的具体原因，当时全球逾

3000架波音737客机面临着全部停飞的命运。

1996年6月9日晚上，东风航空公司一架737-2H5型客机也遭遇了相似的事故，幸运的是这架飞最终得以安全着陆。当时，机长感到方向舵像是有轻微地向右碰撞，突然，飞机毫无预警地向右倾侧，而方向舵像被卡死，完全失控，机长紧急调节引擎不均匀输出功率，试图让飞机恢复水平飞行，随后不久，飞机突然自行恢复了水平飞行。就在机长人员对飞机进行检查的时候，飞机再一次向右倾侧，并且偏离了航道进入失速状态迅速下坠，几秒钟后，飞机又一次自行恢复了水平，最后安全地着陆。

突破性的进展就出现在这次事故之后，由于这架737-2H5型客机没有受损，对于调查585号班机及427号班机两宗空难有了关键性的帮助。NTSB调查人员对方向舵内的液压器做了一连串的试验，结果证实，这一装置在经过极端的温差变化，例如由3万英尺高空的零下50摄氏度至地面30摄氏度的时候，就会出现系统卡住的状况。

NTBS向FAA提出了一系列建议，调查结果公布后，波音公司修改了所有波音737飞机的方向舵设计，并向全球服役中的波音737飞机更改了相关零件。全美航空公司再也没有启用“427”这一航班编号，那次空难也使全美航空公司陷入了财务危机。

“地面上墓碑的数量决定着适航标准的建立，商用飞机制造商的成熟与经验也正是建立在这些墓碑之上……”赵越让介绍说，“这些导致空难的原因加速了新的适航标准的诞生，或者对原有适航标准进行修订。”

从20世纪20年代开始，美国就着手对商用飞机进行适航管理，伴随着美国航空制造业的迅猛发展直至其成为当今世界上基础最雄厚、技术最先进、产品最丰富的航空制造业强国，FAA也发展成为当今世界经验最丰富、最强大的适航当局。

“美国航空制造业的产业结构是典型的金字塔结构，塔尖是以波音公司为代表的、拥有雄厚技术实力和巨大市场份额的航空制造业巨擘，基座是数量众多、充满活力、各具技术特点、产品和服务多样化、经济总额巨大的小型航空制造企业。”路遥介绍说，“与美国这种航空制造业的产业特点相适应，FAA在管理思路上也充分体现了美国航空制造业金字塔形的产业结构。”

根据美国联邦航空规章第183部的规定，美国联邦航空局允许通过委任个人或者机构承担一定的适航审定任务的方式来支持对美国庞大航空制造业的适航管理。

“一方面通过逐步调整委任管理政策中从个人到机构的委任授权，要求在有条件的大型航空制造企业建立机构委任来强化适航管理。”路遥解释说，“另一方面在政策上继续支持大量的对个人的委任，特别是对不隶属于一个航空制造企业的、自由顾问性的个人的委任，来降低小型航空制造企业的适航管理门槛，保证了FAA通过其本身有限的资源来支持金字塔基上数量众多的小型航空制造企业的发展。”

未来，FAA对机构的委任形式将统一为ODA（指定授权机构）。FAA提出ODA的目的是想通过创建全面系统的委任机构，赋予例如波音公司这样已经生产大量成熟机型，而且组织机构完善，拥有核心竞争力和专家优势的美国航空制造商更多的自主权，承认这些企业一定适航验证工作的有效性，为工业方和FAA提高效率。

“选择获得ODA批准将是局方和制造商双赢的选择，例如，波音公司就成立了波音委任符合性验证机构并且获得了FAA的ODA批准，拥有了一些无须局方批准的签署特权。”钱惠德介绍说，“更多的自主权和更大的委任职责提升了美国航空企业的竞争力，使飞机制造商更具独立性，节省了时间与经济成本。”

航空业内的专家认为，实质上，波音787飞机就是在这样的模式下实现了“自我”适航批准，波音公司内部大量的FAA的委任代表，已经使波音公司具备了对FAA现行适航标准制定与修订的直接话语权。FAA适航标准的制定都必须征求波音公司的意见和建议，而且大量的全新的适航标准贯彻工作都在波音公司的商用飞机项目上实施和批准。所以，航空业界认为，某种程度上FAA已经被美国的工业界“绑架”……

2012年2月13日至14日，中国民用航空局在上海召开ARJ21-700飞机型号合格审定委员会（TCB）会议，会上，在TCB委员、美国联邦航空局（FAA）“影子审查组”以及申请方主要领导的见证下，ARJ21-700飞行型号合格审定审查组组长吴坚签发了ARJ21-700飞机101至104四架试飞飞机的型号检查核准书（TIA）。

在商用飞机型号合格审定中，局方的审定试飞是一个非常重要的环节，而TIA则是由型号合格审查组组长签发，批准审查代表对试验产品进行试验前检查、现场观察试验和审定试飞的文件。TIA的签发，标志着ARJ21-700飞机全面进入由局方开展的型号合格审定试飞阶段。

2008年11月28日，ARJ21-700飞机101架机实现首飞，至2012年2月14日进入局方审定试飞阶段，历时37个月。而波音787飞机于2009年12月15日实现首飞，2010年4月20日就获得了TIA，进入局方审定试飞阶段，历时仅4个月，而在此之前，于2010年2月11日已经获得了初始TIA，用于支持

波音787飞机的颤振试飞工作。

2012年2月29日下午3时06分，CAAC试飞员张放与申请人试飞员刘宏亮驾驶ARJ21-700飞机开始了第一个局方审定试飞科目。“我们必须在15天内开展局方审定试飞，不然，FAA会质疑我们进入TIA的成熟度。”钱惠德介绍说，“但是，由于ARJ21-700飞机构型冻结的问题，很多技术问题仍处于摇摆当中，这是个脆弱的TIA……”

原则上，局方审定试飞阶段应对100%的验证试飞科目进行局方审定试飞，ARJ21-700飞机审定试飞科目占总科目的85%，其中CAAC重复试飞科目占60%。而根据资料显示，FAA对波音787飞机仅25%的科目进行了审定试飞。

“CAAC之所以选择了85%的审定试飞科目，一方面是出于积累审定试飞经验的考虑，另一方面则代表着CAAC对ARJ21-700飞机的信任程度。”赵越让表示，“但是，不管怎样，CAAC审定试飞科目的数量必将影响ARJ21-700飞机试飞取证的周期。”

第六章
验证一架商用飞机的安全性到底有多难



国内首次研制成功的一套大型“地面结冰气象条件模拟系统”，为ARJ21-700飞机进行短舱防冰系统结冰条件下机上地面适航验证试验提供了条件。试验的成功突破了国外在该技术领域的技术垄断和贸易壁垒，填补了国内空白，该项研究成果可广泛应用于民机、发动机和国防型号的地面结冰模拟验证

进入局方审定试飞之后，参加ARJ21项目的每一个人都在思考着同一个问题：验证ARJ21-700飞机的安全性到底有多难？每一个人对此得出的答案也各不相同。

ARJ21-700型飞机型号合格审定委员会委员钱惠德会说：“ARJ21-700在航线飞行中使用的速度是0.82马赫数，而在验证试飞中，它最终飞到了0.91马赫数，充分验证了ARJ21-700飞机的安全裕度。”

“根据适航规章CCAR25.571(e)(1)的要求，ARJ21-700飞机机头结构的设计必须保证飞机在与1.8Kg（4磅）的鸟相撞之后，仍能继续安全飞行和着陆。”ARJ21-700飞机强度专业副总设计师朱广荣说。

按照CCAR25.803（c）条款和附录J的要求，在ARJ21-700飞机应急撤离

地面演示试验中，机上90名乘客和4名机组人员要在黑夜条件下，90秒内完成从两个可用的应急出口使用滑梯安全撤离至地面。上海飞机设计研究院ARJ21项目管理部部长王飞介绍说："我们的试验用时仅57秒，远远低于适航条款的要求。"

ARJ21-700飞机最小离地速度试飞是为了验证飞机在极限姿态下离地之后仍然可以控制，给制定飞机正常起飞速度留出足够的安全余量。ARJ21-700飞机首席试飞员赵鹏介绍说："在试飞中要求尾部从开始触地到离地之间，尾部在50%的时间之内必须保持接触地面，在离地之后飞机的姿态不应降低，这对飞行员提出了极高的要求。"

对于ARJ21-700飞机型号合格审定审查组的成员来说，ARJ21-700飞机398条适航审定适用条款的背后，体现的是中美两国在商用航空领域近百年的差距，这既体现在适航审定技术上，也体现在体系上，更体现在观念上。而对于ARJ21项目的申请人来说，300项验证试验、285个表明符合性试飞科目、33本试飞大纲以及厚度高达30米的3418份符合性验证报告，这些数字的背后，则意味着填补国家在商用飞机研制领域的技术空白，要经受意想不到的挫折与挑战。

在5258个飞行小时中，几乎每一分钟，被誉为锻造中国之翼的"刀尖舞者"的试飞团队都在用生命创造着"零的突破"；在2942个试飞架次中，每一次起飞都是逼近危险边缘的探索，既要保证飞机与自身的安全，又要获得设计人员满意的试验数据，而每一次着陆都填补着中国民机适航审定试飞技术的空白，也为中国民机适航审定体系的完善与发展留下新的坐标。

在ARJ21项目中流传着一组数据，它形象地说明了试飞商用飞机的风险性与验证的难度。

据不完全统计，在造成人员伤亡的民航飞行事故中，约有17%是飞机失速导致的，可见失速对于飞机安全的影响，失速试飞也一直被看作是商用飞机风险最高的试飞科目。

受国外供应商的影响，ARJ21-700先后进行了四轮失速试飞，用了8220次失速来寻找"安全性"和"经济性"的最佳平衡点，往往一个飞行架次就必须尝试四五十次的失速，甚至与死神擦肩而过，用生命验证了ARJ21-700的失速特性以及失速警告裕度，这在国际同类机型试飞中绝无仅有。

航空发动机在空中停车所带来的风险众所周知，据统计，先进航空发动机的空中停车概率约为每30万飞行小时一次。假设一名旅客每周飞行两小时左右，要经过3000年才能遇到一次发动机空停的风险。对于航线飞行员来说，若以3万小时的飞行时间来计算，他要经历10个飞行生涯才能遇到一

次这样的致命风险。

然而，申请人与局方试飞团队经常要在一个架次内就执行数十次的空中或者地面起飞滑跑过程中关闭发动机的验证，有些科目还要叠加不利的重量、重心以及高原机场起降等严酷条件。

在ARJ21-700飞机型号合格审定审查组试飞、性能专业组组长周成刚看来，“很多的试验与试飞之所以选择在最严酷的试验条件下进行，只有一个目的，就是要按照适航条款的要求充分验证ARJ21-700飞机的安全性。”

“398个适航条款的验证，虽然艰难程度各有不同，但是每一个传奇，即使慢慢远离人们的视线，他们的经典却依然映在脑海里……”时任中国民航上海航空器适航审定中心主任沈小明说。

几乎所有的试验都是填补空白的

轮胎爆破试验

5月的桂林正是多雨的季节，曙光橡胶工业研究设计院的山茶花也开得正艳，被雨水冲刷后的花瓣泛着丝绸般的光泽，每一片花瓣都像是经过工艺大师精心雕刻一样的精致，这让人想起了席慕蓉的诗：“就因为每一朵花只能开一次，所以，它就极为小心地绝不错一步，满树的花，就没有一朵开错了的，它们是那样慎重和认真地迎接着唯一的一次春天。”

桂林的蚊子是出了名的凶狠，试验队员都被咬了浑身的大包，为了驱赶蚊子，赵克良和曙光橡胶工业研究设计院副院长杨浩围在一起抽烟，他俩谁也没有心情赏花，都眼睛直勾勾地盯着池塘里的水，脑子里想的都是第二天的试验——ARJ21-700飞机主起落架舱内轮胎爆破试验。

在试验厂房后面堆着各种在轮胎试验中“牺牲”的轮胎。航空轮胎是维系飞机安全的重要部件，据统计，飞机爆胎、轮胎脱层与轮胎破损是每年发生最多的不安全事件类型，仅2013年由轮胎导致的不安全事件就高达3832起。

ARJ21-700飞机主起落架舱内轮胎爆破试验不仅是国内首次按照国际适航标准进行的试验，在国际上也尚属首例。

“此次试验采用的是国际上最为严酷的‘X’型爆破方式，轮胎爆破瞬间仅为11毫秒，所释放的能量却相当于在主起落架舱内引爆两枚手雷。”赵克良介绍说：“ARJ21-700飞机部分系统的管路与设备都集中在主起落架舱

内，一旦出现损伤，就会导致飞机丧失一系列重要功能，所以，此项试验是直接关系航空器运营安全的重要试验。”

试验前，曙光橡胶工业研究设计院的工程人员首先要在ARJ21-700飞机轮胎表面制造出一定的破损，用以模拟飞机在滑跑过程中因刹车而磨损的程度，然后，试验人员要在主起落架舱内引爆破损的轮胎，用以模拟磨损的轮胎在飞行过程中，因内外压差变化而在空中爆胎的一种模式，以验证安装在主起落架舱内的关键设备是否能够承受轮胎爆破所释放的能量冲击，确保飞行安全。

消磨轮胎的过程是严格保密的，这是引爆出符合适航条款要求的“X”型爆破模式的关键步骤，即使是赵克良也不能观看这个过程。

“我们也要和席慕蓉的白茶花一样，慎重而认真地迎接这一项试验。”但是，对于这项填补“国际空白”的试验，赵克良心里却并不情愿，“要知道，并不是每一项空白的填补都值得骄傲，对于这项试验，任何一家飞机制造商都不会情愿在自己的起落架舱里‘扔上’两枚手雷……”

“关于这项试验的判据，我们与CAAC讨论了很长时间，最初我们选择了国际上普遍采用的喷流锥模型进行试验。但是，最新的EASA咨询通告认为，空气喷流压力效应在子午胎和斜交轮胎上造成的影响是不同的，斜交轮胎在发生轮胎爆破时将产生‘X’型爆破模式，它所释放的能量是喷流锥模式的30倍。”郭博智介绍说，“我们的飞机正是斜交轮胎，所以，CAAC要求我们必须按照最新，也是最严酷的条款来进行试验。”

“这不仅会让我们付出时间与成本上的代价，更重要的是，为了抵御‘X’型爆破所释放的能量，我们必须在主起落架舱内增加防护措施，这意味着ARJ21-700飞机要付出更多重量上的代价，而每一克重量的增加都直接关系到ARJ21-700飞机的经济性。”赵克良介绍说，“事实上，飞机轮胎爆破是一种复杂的现象，目前还没有相关的适航条款明确轮胎失效的危害模式，所以，我们为全世界飞机制造商积累了相关的经验。”

对此，上海审定中心结构强度室副主任黄少麟表示：随着技术的积累，CAAC并不排除在未来的试验中采用国际上通用的试验方式，通过采集轮胎爆破能量的分布，进行强度校核计算以验证适航条款的符合性，从而降低申请人的试验成本并缩短周期，但是，对于ARJ21项目，对于新的申请人来说，多进行工程数据的积累是必经的阶段。无论是保守的审定风格还是严酷的考核模式，我们的目的都是保证ARJ21-700飞机的安全性，这对于中国国产商用飞机产业发展是至关重要的一步。

2014年5月20日上午，我国首例飞机主起落架舱内轮胎爆破试验在曙光橡

胶工业研究设计院获得成功，经过CAAC的检测，ARJ21-700飞机应急放操纵机构操纵灵活，试验结果表明，轮胎爆破防护措施有效。

“虽然采用了国际上最严酷的考核模式，但是试验的成功充分验证了飞机的安全性。”上海适航审定中心郝一鸣说，“这项试验也使我们首次通过试验的方式了解了‘X’型爆破模式下对起落架舱内系统设备产生损伤的程度。”

虽然轮胎爆破的过程仅为11毫秒，但留给杨浩的印象却极为深刻：“以前我们只关注航空轮胎的充气耐压性能，通过此项试验，我们对航空轮胎的爆破性能与安全要求有了更深的了解，以及轮胎爆破对飞机上关键部件、人员的危害程度有了更加感性的认识，对我们设计更加安全可靠的航空轮胎具有十分重要的意义。”

结冰条件下短舱防冰地面试验

2015年3月7日，虽然是刚刚下过雪，但是哈尔滨拉林机场的温度依然没有达到进行“结冰条件下短舱防冰地面试验”的要求。根据气象预报，要在太阳落山后气温才能降到零下9摄氏度，试验人员将ARJ21-700飞机与“地面结冰气象条件模拟系统”调试好，就开始成群结队地围着机场的跑道一圈一圈地走路，一边抵御寒冷，一边等待满足适航条款要求的气象条件。

无论是外场试验还是机库排故，等待的时间总是令人煎熬，不是要等满足条款要求的气象条件，就是要等排除故障，但是试验人员总是有各种各样的方式来打发时间。

在没有空调、四面透风的467机库通宵排故的时候，为了驱赶困意，霍尼韦尔公司ARJ21项目现场负责人何波会和美国专家在凌晨3点的时候骑上自行车，围ARJ21-700飞机你追我赶，边骑车边讨论问题。一旦有近距离接触发动机的机会，上海适航审定中心审查代表韩冰冰也总是爬到工程梯上，查看发动机的每一条管路，欣赏着发动机的工业之美，这也成为她释放工作压力的一种方式，“商用飞机的确是工业皇冠上最璀璨的明珠，因为这里的每一颗铆钉都展示着一个国家的工业文明程度与科技的内涵……”

上海飞机设计研究院李志茂透过手指缝看着太阳的余晖，一片红色霞光打在ARJ21-700飞机上，渐渐的，深蓝色的夜空已经出现了点点的繁星，跑道边上一架被帆布盖着的运-7飞机渐渐消失在夜色中，监控设备前的对讲机开始哗啦哗啦地响起来……经过4个小时的等待，室外的气温终于降到了零下1摄氏度，又一项填补国内空白的试验就要开始了。

“根据美国航空航天局（NASA）资料统计，飞机在执行航线飞行任务前需要在机场完成廊桥乘客接送以及等待起飞，如果此时遇到地面结冰或者冻雨的气象条件，就存在着影响发动机安全运行的隐患。”李志茂介绍说：“此项试验队目的，就是要验证在这样的气象条件下，ARJ21-700飞机依然具有安全运营的能力。这是ARJ21-700飞机进行自然结冰试飞前必须完成的地面试验，我们要掌握发动机自然结冰的规律，为验证ARJ21-700飞机防冰系统的性能积累经验。”

按照适航条款25.1093(b)的要求，此项试验的试验温度一定要限制在零下1摄氏度至零下9摄氏度，发动机周围的液态水含量不低于0.3克每立方米，水滴直径不小于20微米。

“事实上，这项试验的难度在于制造出满足适航条款要求的气象条件。在国外，这项试验是在气候试验室进行的，但我国目前还没有类似的试验设施，为了满足试验的需求，我们联合中国航空工业空气动力研究院共同研制了我国首套‘地面结冰气象条件模拟系统’。”ARJ21-700飞机环控系统副总设计师辛旭东介绍说，“这套系统能够模拟出用以验证航空动力装置的冻雾天气环境，这对于我国建立气象试验室、提高我国航空器飞行安全都具有重要意义”。

据介绍，国外在进行此项试验时都是借助于成熟的气象试验室，例如，美国佛罗里达州的美国空军麦金利气候试验室、田纳西州阿诺德工程试验中心以及加拿大渥太华国家研究中心。因为在自然界中寻找稳定的气象条件是非常困难的，而我国在此之前并没有类似的试验设施，因此ARJ21-700飞机相关的验证工作一度陷入了困境。

根据资料显示，美国麦金利气候实验室位于美国佛罗里达州的埃格林空军基地，实验室能够产生各种气候环境，可以在极端条件下进行系统试验，温度从零下76.1摄氏度到76.7摄氏度，保证暴露于恶劣环境中的复杂系统达到最大的可靠性和工作能力。在全天候实验室，气候条件能在几小时内就模拟完成，大大缩短了试验的周期并降低了成本。而在多功能实验室能够模拟下雪、结冰、日照、刮风、下雨、湿度、沙、尘、盐雾、温度以及高度条件，这些实验室经常被航空制造企业所使用。

“决定自主研制这套系统并不轻松，我们调研了很多的科研单位，最终只有中航工业空气动力研究院鼓足了勇气接受了这个挑战。”罗荣怀介绍说，“尽管他们在冰风洞方面有一定的技术储备，但是，对于大型商用飞机结冰的研究还缺少经验，所以，这是一项巨大的挑战。可是谁也没有想到，他们仅用了三个多月的时间就完成了研制，这项空白的填补的确是件值得骄傲的事情。”

“事实上，我们的科研人员都非常聪明，只要我们有足够的市场牵引，他们就能表现出旺盛的科研活力。”在辛旭东看来，ARJ21项目的产业拉动作用已经体现出来，“目前，这套系统以及相关技术已应用于我国多款航空武器装备的研制，例如无人机与武装直升机，也将用于大型运输机运-20的相关结冰试验。”

2015年3月7日18时，试验开始后，由组合风洞系统、喷雾系统、供水与供气系统以及测控等系统构成的“地面结冰气象条件模拟系统”开始运转起来，试验人员通过软件调整控制着水气的参数，使发动机测试区水雾参数不仅满足颗粒直径和含水量的适航要求，还能确保水滴处于过冷状态。

稳定的水汽持续不断地吹向ARJ21-700飞机的发动机，试验人员密切地注视着发动机结冰后的运行状态。中国航空工业空气动力研究院魏然介绍说：“我们这套系统的优势除了能够提供稳定的气象条件，还在于设备的灵活性，2.5米量级的风洞能够在可移动架车上稳定运行，这套系统的成功研制，为我国建立气象试验室以及提高我国航空器的安全性设计水平积累了数据与经验，对提高我国航空器飞行安全具有重要意义。”

“试验过程中，ARJ21-700飞机发动机工作正常，各类参数没有出现异常情况，这又是一项填补国内空白的试验。”上海适航审定中心试飞工程师张海涛在目击完整个试验后说，“试验的成功，不但验证了ARJ21-700飞机的条款符合性，这套‘地面结冰气象条件模拟系统”也得到了验证，同时也为我国大型商用飞机的适航验证提供了必要的条件，这的确是件令人振奋的事情”。

整个试验期间，上海飞机设计研究院环控部部长李革萍一直站在ARJ21-700飞机旁边，模拟系统喷溅出的水雾不仅使发动机叶片结了冰，也让李革萍的眉毛结了冰，“我们环控专业的挑战就在于无论外界气候条件如何变化，都要保证客舱内是个稳定、舒适的小环境。对于市场和客户来说，环控系统的表现是ARJ21-700飞机舒适性与经济性最直观的体现与感受”。

那天晚上，环控专业的飞机设计师们还没来得及尝上一口中国最著名的五常大米就匆匆地登上了返回上海的航班。“今天的成功是非常有价值与坚实的一步，但是我们不能停留，因为还有太多的挑战，实现梦想的距离已经越来越近，我已经能想象到ARJ21-700飞机入役飞行时的情景……”李革萍舔了一下干裂的嘴唇自信地说。

噪声试飞

2013年9月28日，经过19天的试飞，ARJ21-700飞机在陕西蒲城内府机场

完成了航空器噪声审定试飞科目，满足了国际最新噪声限制标准，为我国民机噪声测量试飞及其审定工作积累了经验。

航空器的噪声审定源于公众对于噪声环保的要求，是航空器设计的重要目标之一。ARJ21-700飞机的噪声试飞是我国第一次严格按照适航规章CCAR36部等条款的要求进行的审定试飞，其目的是测量ARJ21-700飞机在飞越、横侧和进场时的噪声是否满足国际最新噪声标准，即第四阶段噪声标准要求：飞越噪声有效感觉噪声级不大于89分贝；横侧噪声有效感觉噪声级不大于94.5分贝；进场噪声有效感觉噪声级不大于98.3分贝。

ARJ21-700飞机工程审查代表金奕山介绍说，“此次ARJ21-700飞机噪声合格审定试飞使用的是等效的方法，该方法使用航迹切入程序，按照事先确定的目标飞行航迹进行起飞和进场噪声测量试验，不需要进行实际的起飞和着陆，以减少起落数缩短试验周期。”

在蒲城内府机场跑道南侧距跑道中心线220米处，试验人员在与跑道平行的线上建立了噪声测量飞行地标的基准线，在这条基准线上布置了飞越与进场噪声的测量点，在距此测量点的两侧450米处又布置了两个横测噪声的测量点，这三个测量点构成了ARJ21-700飞机噪声的测量环境。

在19天的试验中，ARJ21-700飞机以不同的速度、高度与爬升角的组合通过这三个测量点的上空以采集飞机的噪声分贝数。“其中风险性最大的一个测量点是ARJ21-700飞机的飞行高度要距离地面30米，这对试飞员对飞机的操控能力提出挑战。”赵克良说。

上海适航审定中心局方试飞员赵志强承担了此次试飞任务，“在整个试飞期间，试飞员要按照给定的航迹来进行飞行，准确地切入试验点的上空，试飞员飞出的航迹必须在误差带以内，这要求试飞员对航迹的把握必须非常准确，而且机场上空鸟非常多，极容易发生鸟撞的风险”。

航空器的噪声源主要来源于四个方面：飞机发动机、机身与机翼、增升装置与起落架。在飞机设计中可以通过低阻力的机身机翼构型和对增升装置进行表面光滑处理降低气流分离来减少机体噪声。发动机是飞机最大的噪声源，其工作噪声可占整机噪声强度的80%以上，对此需要通过发动机与短舱的设计进行噪声优化处理。

赵克良表示，无论是从发动机还是飞机的气动外形上在初始设计阶段就要考虑噪声设计的指标，ARJ21-700飞机噪声审定试飞的顺利完成为我国航空器的噪声设计积累了这方面的经验。

ARJ21-700飞机外部噪声合格审定飞行试验也是FAA直接审查的项目。“试

验的顺利完成对推进适航取证和中美政府间有关协议具有十分重要的意义。”ARJ21-700飞机副总设计师徐有成说，“试验的成功也意味着ARJ21-700飞机噪声‘不扰民’。”

最大刹车能量中止起飞试验

2014年11月5日，我国首例飞机最大刹车能量中止起飞试验在中国飞行试验研究院进行，如果一切顺利，这将是101架机进行的最后一项试验。

ARJ21-700飞机最大刹车能量中止起飞试验的目的在于，当飞机在滑跑中动力系统出现故障，必须进行中断起飞时，ARJ21-700飞机机轮刹车装置的最大能量吸收能力能够保证飞机安全刹停，即使在机轮着火的情况下，乘客依然能够有足够的时间完成安全撤离。

“此项试验是国内首次按照国际适航标准进行的I类风险试验，是ARJ21-700飞机获得型号合格证过程中必须进行的测试项目，也是直接关系航空器运营安全的重要试验。”赵越让介绍说，“这项试验也是FAA选择目击的项目，事实上，FAA选择的所有目击科目首先都与公共航空安全密切相关，其次是能够对我国航空工业基础实力进行评估的科目”。

在进行试验前，试验人员首先将ARJ21-700飞机的刹车盘更换为磨损剩余量仅为10%的刹车盘，用以模拟刹车盘在日常使用中的极限磨损状态。

试验开始后，ARJ21-700飞机首先以地面慢车状态滑跑五公里，并且进行了三次刹车，模拟正常运营的飞机在排队等待起飞过程中的运营状态。

测试过程中，在ARJ21-700飞机到达临界的中止起飞速度（300公里/小时）时，试飞员以飞机最大减速能力将飞机完全刹停，由于刹车所释放的巨大能量导致飞机的刹车装置产生高温，焕发出明亮的橙红色，这也是ARJ21-700飞机最具有观赏性的一项试验。

根据适航条款的要求，在飞机完全停稳后的五分钟内不得采取任何消防措施，五分钟之后消防员才被允许接近飞机并对机轮和刹车盘进行降温处理。对此，上海飞机设计研究院李栋成解释说：“我们必须在试验中证明，燃烧仅限于轮胎、机轮和刹车装置，而不会发生在乘客和空勤人员撤离过程中火焰逐渐蔓延吞没飞机的其余部分。”

赵志强表示：试飞员要在测试中准确地控制飞机，在飞机速度即将达到目标速度时果断地中断飞机起飞，留给试飞员的反应时间仅为0.2秒，如果过早地实施了中止起飞的操作动作，刹车盘积聚的能量没有达到测试的要求就会导致试验的失败；如果试飞员反应迟缓，起落架系统就会超出所能

承受的能量，从而导致结构的损伤，甚至是飞机冲出跑道的危险。所以，试验的成功不仅验证的ARJ21-700飞机的安全性，也为我国商用飞机审定试飞技术积累了经验。

试验进行得非常顺利，当CAAC与FAA的审查员纷纷向赵克良表示庆祝的时候，赵志强却沮丧地走下飞机，他告诉沈晓明："在我实施中止起飞操作动作的时候，发动机的反推机械锁又被突破了，这将影响试验的有效性。"

所有人的心情都跌到了谷底，即使FAA"影子审查"组组长托马斯·史德赋（Thomas Stafford）也目击了试验，沈晓明也并没有急于对试验结果给出结论，"在与FAA开会前，我需要确定在101架飞机上使用的是不是已经更改过的新构型的油门台，这是做出判断的关键问题。"

"恐怕的确是的！"赵克良不得不沮丧地回答说，"这不仅意味着我们的试验是无效的，因为反推打开使刹车系统获益，没有达到验证的目的，更重要的后果是，发动机的油门台更改并没有成功解决反推机械锁被突破的问题。"

ARJ21-700飞机飞控系统副总设计师田剑波、吕军陪着赵克良走在漆黑的跑道上，此时3400米长的跑道似乎怎么也走不到尽头，他们轮流地给常红打电话，急于确定油门台的构型状态，可是电话一直占线，三个人摸着黑走回467机库，一路上讨论着最坏的结果和所有能采取的措施……

此时，常红已经在467机库门口等着他们，看着沮丧的赵克良，她说："情况没有那么糟，101架飞机上的油门台是没有更改过的旧构型，所以才会出现反推机械锁被突破的情况。"

这个结果终于让所有人松了一口气。事实上，飞机设计就是这样一个充满挑战的职业，所有被忽视的问题总是会以最棘手的方式暴露出来，无时无刻不考验着飞机设计师的智慧与能力，这就是系统工程的复杂性与永恒的魅力所在。

2014年11月8日，我国首例飞机最大刹车能量中止起飞试验在中国飞行试验研究院获得了成功，这又是一项填补国内技术空白的试验，证明了ARJ21-700飞机的安全性。

"我看着40多吨的ARJ21-700飞机在300公里/小时的高速状态下猛踩刹车，滑出2.6公里后完全停止，火红的刹车盘温度高达2000摄氏度，呈现出科幻般的橙红色，照亮了整个机轮与机腹……"试验结束后，上海飞机设计研究院飞机设计师哈萨克族小伙沙力塔那提·包拉提依然难掩内心的激

动，“那个时候，我感受到作为一名飞机设计师的自豪，我设计的飞机是安全的，我们所有的设计手段都是有效的，想到这些，我觉得世界上没有比做一名飞机设计师更酷的职业了！”

这也是中航工业飞行试验研究院王诚华第一次经历这样的试验，“是的，试验的成功不仅可以将成果直接应用于民用航空器起落架系统的研制，更为提高商用飞机的安全性设计以及试验试飞水平积累了宝贵经验”。

试验成功后，FAA“影子审查”代表表示：拳击手只要站在台上，就有一颗争夺冠军的心，CAAC和中国商飞公司没有被挫折击倒，又重新站起来，赢得了最终的胜利！

“正如托马斯·阿尔瓦·爱迪生所说，失败者的一大弱点在于放弃,而成功的必然之路就是不断地重来一次。”那一刻，作为ARJ21项目型号合格审查组新任组长，沈晓明胸前的红领带格外的鲜艳，这位自信的技术型领导，正带领着这支CAAC的“国家队”在国际适航领域中展现着中国人对于航空安全的理解、态度与贡献。

在11年3个月的适航审定过程中，ARJ21-700飞机共突破了100多项技术难关，解决制约适航取证的技术难题130多个，同时也为中国大型客机C919飞机的适航取证积累了经验。正是因为这些填补国内技术空白的试验、试飞，ARJ21-700飞机也被看作是C919大型客机的“先行者”与“趟路者”。

用579天解决1.2度的误差

著名的意大利历史哲学家克罗齐（Beneddtto Croce）曾说，一切历史都是当代史；而英国历史学家柯林伍德（Robin George Colling Wood）则认为，一切历史都是思想史。这两种观点在飞机发展史上得到了高度的统一，产品研发者所苦心追求的无非就是两样东西：用历史来证明所研发产品的成功性与从历史中汲取前人产品研发的经验、教训并产生更先进的设计思想，以指导设计出更优秀的下一代飞机。

对于吕军来说，自己最珍贵的一张合影就是与“ARJ21-700飞机前起落架应急放”技术攻关团队在试飞院“红房子”前的合影。

“这是ARJ21项目中著名的‘811办公室’，别看这是间破旧的红砖房子，当时这里可是集中了全国结构领域的专家，我们在这里解决了困扰ARJ21项目5年的一项技术问题，在这里，我们知道了如何与系统供应商合作，如何履行主制造商的责任，而不仅仅是依靠他们去解决技术问题。”

2009年5月9日，ARJ21-700飞机101架机在应急放试验试飞时发现，前起

落架应急放下后不能上锁，不满足适航条款CCAR25.729的要求。

“这不仅影响200多个试飞科目的开展，而且是个影响试飞安全的隐患，我们必须得解决这个棘手的问题。”吕军介绍说，“在之后两年多的时间里，我们尝试过很多技术方案，但都无法彻底解决这个问题，这种挫折感每天都伴随我们，让人喘不过气来。”

起落架的应急放系统，也称为备用系统，顾名思义是一种应急系统，它指的是在起落架正常放系统，特别是液压能源系统失效的情况下，采用应急方法打开起落架上位锁，使起落架能够靠自身重力或者在其他备用动力辅助作用下，克服空气和其他阻力放下并上锁。

“前起落架应急放问题，其实并不是起落架放不下来，而是在起落架放下后的最后阶段不能锁定，即放下后不能上锁。”吕军介绍说，“前起落架完全放下后，其与阻力杆的夹角应为101.2度，但在试飞时，因为受气动载荷的影响，夹角最大只能达到100度，只差1.2度的误差导致前起落架不能锁定，我们所有的努力就是要解决这个误差。”

这个问题始终受到CAAC的关注，几乎每个月的适航会上，CAAC都会追踪技术方案的进展情况。“这就像每次考试都会被老师点名一样难受，‘前起应急放、前起应急放’就连会议室的服务员对这个词都已经不再陌生，虽然她们并不知道这意味着什么。”田剑波沮丧地说，“糟糕的是，每次我们都不得不说‘我还没有找到解决问题的方法’……”

“早期的时候，我们提出了将主起落架蓄压器连通到前起落架上的蓄压器液压辅助方案，飞机液压系统失效后，蓄压器仍能短暂工作一段时间，保证提供收放起落架的动力。”田剑波介绍说，“但是CAAC并不认同这个方案，因为，蓄压器并非独立的动力系统，与液压系统属于同能源、同管路，一旦损坏就失去了辅助动力，用蓄压器解决应急放问题是无法保证适航条款要求的飞行安全的。”

“2011年8月11日，为了彻底解决1.2度的问题，我们成立了‘811攻关组’”，吕军介绍说，“那个时候，我们的确陷入了困境，此后的一年多时间里，我们不断与起落架供应商——德国利勃海尔宇航公司进行交流，希望能找到有效的解决方案。”

“争执、指责、拍桌子、甩本子，利勃海尔公司甚至是威胁要退出ARJ21项目……”上海飞机设计研究院飞机设计师杨尚新介绍说，“我们关上门整整吵了两天，因为他们并不愿承认自己的产品存在着设计缺陷，我们的争论一度陷入了失控的状态……”

在应急放液压辅助应急放方案被CAAC否定后，利勃海尔公司表现得有些束手无策，年轻的飞机设计师们甚至惊讶，“他们可是国际知名的起落架设计供应商，他们拥有丰富的设计经验，他们是ARJ21项目的风险合作伙伴，他们的产品应该代表着德国工业的品质与精神。可是，他们在设计中忽视了起落架上锁过程中起阻碍作用的前舱门的气动载荷，这可是个致命的错误！”

“难道这不是你们申请人的错误吗？顶层需求与系统集成不是申请人的职责吗？”利勃海尔公司的现场代表也会毫不客气地说，“你们可是ARJ21-700飞机的主制造商，难道是我们拥有这架飞机的知识产权吗？”

“还记得我们当年在选择ARJ21项目供应商的时候是怎么说的，在全世界范围内，24小时都有最优秀的飞机设计师和我们一起设计飞机，我们实现了这个疯狂的想法，但这绝对是个充满风险的挑战！”中国商飞公司供应商管理部部长陈亚红介绍说，“如何对供应商进行管理，如何让他们将最优秀的技术资源放到ARJ21项目上，如何让他们的研制速度跟上ARJ21项目的节奏，如何让他们不要总是为设计更改而收费，如何让他们承认产品的缺陷，如何让他们意识到ARJ21项目以及中国商飞公司将是他们最有市场潜力的客户……解决所有的这些问题，都在考验我们的智慧，而更重要的是要让19家供应商和我们一起设计出优秀的ARJ21-700飞机。”

“供应商的事都是我们的事。”这是陈亚红常说的一句话，一旦供应商“惹了麻烦”，大家就会调侃陈亚红，“供应商保卫部，快去管管你的供应商。”

“我们通过分析和地面试验，证明了前舱门气动力过大，阻碍了起落架上锁，这是导致前起落架应急放问题的主要原因。”田剑波介绍说，“或者减小起落架前舱门的气动力或者在起落架前舱门气动力不变的情况下，降低气动力对机构的阻碍效率，围绕着这两个思路，我们尝试了很多设计更改方案，但都没有取得成功，这的确令我们很沮丧。”

在此期间，飞机设计师们还曾提出一种基于前起落架舱门在起落架放下后不关闭的机构更改方案。

“我们希望通过舱门驱动点的调整改变传动比，最终使得前起落架前舱门在起落架放下后维持打开状态而非原设计的关闭状态。”上海飞机设计研究院飞机设计师张璞介绍说，“从解决起落架应急放的角度看，舱门不关闭的机构更改方案完全能够解决应急放这个棘手的问题，但会恶化ARJ21-700飞机的荷兰滚特性。经过技术权衡，我们最终放弃了这种损失ARJ21-700飞机总体性能的方案。”

飞机设计就是一个不断进行权衡与取舍的过程，永远在各种矛盾中寻找平

衡点，这个过程正是飞机设计师能力的体现。“既然我们是主制造商，那我们就来解决问题！”吕军说。

“能否在起落架舱内设计一个支柱驱动机构？”

“不可能，因为起落架舱内已经没有足够的空间装得下这套支柱驱动机构！”

“虽然我们已经掌握了支柱驱动方案的设计原理，但是空间的限制导致实施这个方案比重新设计起落架系统还要困难。”张璞介绍说，“我们似乎已经陷入了绝境，在方案设计阶段，这是个很好解决的问题，但是到了试验试飞阶段，任何更改都将付出巨大的代价。对于我们飞机设计师来说，这是生动的一课，一定要将问题解决在为飞机画下第一条线的时候……”

但是似乎没有什么真的能难住这些年轻的飞机设计师，在查看了机头相关系统布置后，张璞还是找到了创新性的设计思路。“我们不但解决了舱门机构的‘先天不足’，还避免了起落架本体的更改。”张璞说，“我们从机构设计上彻底解决了困扰ARJ21项目五年的前起落架应急放问题。这个过程很煎熬，但是我们从来没有失去信心。”

“也许在外人看来我们解决了工程中的棘手问题是件值得庆幸的事情，但是，对于我们飞机设计师来说，把更多的商业实践与我们所掌握的技能结合在了一起，通过技术上的权衡，设计出了一架优秀的飞机才是我们的价值所在。”吕军介绍说，“我们在所有的挑战中不断探索技术之间的互补性，不断丰富我们的工程经验，这些因素才是我们解决问题的关键所在。”

2011年12月1日，针对新的设计方案，利勃海尔公司提出需要两年时间才能完成前起落架应急放系统的更改，这是ARJ21项目完全不能接受的。“不，我们没有时间，我们有240多项与此相关的试验不能开展，必须彻底排除这个安全隐患。”白永宽不停地晃着手里的试飞计划表。

每次看着白永宽满走廊喊着人，推开一扇扇门，盯着每一个流程将一张张试飞任务单变成一个个现实的飞行小时数的时候，作为ARJ21项目西安外场试验队的新任队长，赵越让总是坐在会议桌后面暗自得意，“是的，我们需要这样一个‘不择一切手段’将飞机‘撵’上天的人。事实上，随着我们对商用飞机研制规律的了解，对ARJ21项目信心的稳固，这条产业链上的每个人也都找到了自己的位置与价值。在我看来，最有价值的并不仅仅是技术难关的突破，而是如何用工程与商业的思维处理问题，至此，我们对国产民机的商业航空时代才能有所期待。”

“我们与合作伙伴彼此间的信任需要数年的经营，却可以在一瞬间坍塌。”吕军介绍说，“在这样的情况下，我们不得不紧急进行装机模拟试验件的设计工作，我们想告诉利勃海尔公司，依靠我们自身的技术能力是可以解决眼下这个危机的。但是，我们并不想失去这个陪伴ARJ21项目多年的风险合作伙伴，毕竟我们已经看到了曙光。”

2011年12月初，吕军带着“811攻关组”在鹅毛大雪中赶赴德国，与利勃海尔公司进行设计任务和项目协调，在经过激烈的讨论之后，利勃海尔公司将研制周期缩短了一年的时间。

由于ARJ21项目历时多年，起落架供应商利勃海尔公司内部也发生了一系列的变化，最主要的是利勃海尔与巴西合作的次级供应商解体，以前由其次级供应商提供的ARJ21-700飞机前起落架的设计任务转移回利勃海尔公司。

“这实际上直接导致了ARJ21-700飞机前起落架设计团队解散，很多设计基础也难以追根溯源。”陈亚红说，“总之，本应是解决问题的途径，结果却拖了项目的后腿，对供应商的过分依赖已经成为ARJ21项目发展中一个不利的因素，尤其是对于次级供应商的管理更凸显了我们供应链管理的脆弱。事实上，即使像波音公司这样拥有丰富经验的航空企业，也在波音787项目上被供应商制造的‘麻烦’绊住了脚。”

“波音787项目在商用飞机技术上所取得的突破已经使其成为大型客机产品的标杆，但实际上，波音787项目在供应链管理上的管理创新更为突出。”谢灿军介绍说：“波音787项目采用了波音公司历史上空前的风险合作模式，高达60%～70%的研制和生产工作量由波音公司的供应商来完成，与此同时，波音787项目的技术和管理风险也随之上升。”

波音787项目第一次延迟，波音公司宣布的原因包括分系统的软件和系统集成问题、部分零件短缺的问题。波音787项目的第二次延迟，波音公司明确承认项目主要问题出在787项目的供应链管理上。即使全世界的飞机制造业都对波音公司这场全球化合作战略下的管理创新所导致的采购危机而唏嘘不已，谁都不可否认，创新毕竟是飞机制造业发展的核心动力。

“波音787项目所采用的最新材料和技术，全新的供应链管理模式与合作方式，以及与金融界的紧密合作都被视为是一个工业化的壮举而为全世界所瞩目。它在航空史上第二个百年来临之际，也为世界商用飞机制造业的发展趋势创立了一个革命性的标准。”郭博智说。

2013年，一名利勃海尔公司的女性发言人对媒体公布了ARJ21项目由于起落架系统更改将再次延迟交付的消息，ARJ21项目再次被推到了风口浪尖

上，批评的焦点指向了全球采购的商业模式。

“虽然国内媒体对ARJ21项目选择了19家国际供应商提出了尖锐的批评，但是，全球合作的商业模式已经成为飞机制造业不可否认的动力，而我们也正在通过ARJ21项目来打造一个更加高效的供应链来规避项目研制的风险。”罗荣怀说，“不管过程中还将面临怎样的危机，这些问题都不能成为否定创新的阻力。”

“事实上，供应链危机同样影响着利勃海尔公司，从次级供应商手里接过ARJ21-700飞机前起落架新机构的详细设计工作，自然存在很多困难，主要是人力资源和项目资金的问题。”吕军介绍说，“供应商的设计周期一般都很长，但是他们非常注重细节设计，在设计完成后很少出现大量的更改，而在零件设计上也更追求美感和精致，毕竟利勃海尔公司经历过波音与空客公司多种商用飞机型号的历练，有着丰富的经验。”

2013年3月12日，ARJ21-700飞机103架机进行的前起落架应急放试验获得了成功，不但消除了试飞中的安全隐患，也为起落架系统的试飞验证打开了通道。“811攻关组”用579天解决了1.2度的误差，也留下了他们这一生中最为珍贵的一张合影。

“事实上，‘811攻关组’技术方案的成功，是一次递推式寻求解决方案的成功典范。”上海飞机设计研究院结构部部长孟庆功介绍说，“我至今仍记得CAAC审查代表成树生所说的：‘如果没有我当时的坚持，ARJ21-700飞机前起落架应急放故障可能现在还在凑合呢！’他的话虽然尖锐，但正是这些严格，甚至苛刻的要求，在一步步推动着ARJ21-700飞机安全性的提高以及商用飞机设计技术的持续进步。”

2015年3月17日，德国利勃海尔总裁舒那曼（Mr. Arndt Schoenemnn）参与ARJ21-700飞机的航线演示飞行，“我认为ARJ21-700是安全可靠的！CAAC的适航标准等效于美国、欧洲的最高适航标准，CAAC在国际适航领域具有足够的权威性。”

虽然工程意味着妥协，但更意味着必须为未来进行决策

2012年冬季的一天，永远繁忙的467机库却大门紧闭，里面没有一个人，ARJ21-700飞机停放在机库中央，飞机的舱门和能打开的所有飞机口盖都敞开着，飞机周边撒满了面粉，一只鸽子装在笼子里，放在旋梯旁边，不时地发出咕咕的叫声，机库里的摄像头都重新调整了角度，记录着每个飞机出口的动静。

白永宽眉头紧锁地站在二楼的窗子前，看着白面粉上是否出现了脚印，他

不情愿地撤销了这架飞机当天的试飞计划。不管什么原因，只要是撤销试飞计划，总是会惹得白永宽嘟囔几句，但这次他也只能无可奈何地等着。因为一只黄鼠狼在夜里为了取暖钻进了飞机，它可不听任何人的命令，能吸引它走出飞机的只有笼子里的鸽子。

“不能进去抓，不能惊吓它，飞机上可有成千上万条测试管线和设备，如果它受到惊吓四处逃窜，咬断任何一条管线都会导致飞机相应功能的丧失……”白永宽说，“彻底咬断倒还是理想的情况，最可怕的是它没能咬断的管线，线路就那样虚接着……想想这样的场面都让人抓狂！”

起码，这只黄鼠狼不可能在发动机的吊挂里，因为，那里已经一点空间都没有了！

“哪怕再多一点空间，我们就能装下一个体积更大的预冷器，那我眼下的困境也就迎刃而解了。”李志茂说，“ARJ21-700飞机短舱防冰系统所使用的热气是从预冷器后抽取的，但是，在ARJ21-700飞机设计初期，由于发动机吊挂中安装位置有限，环控系统的预冷器体积受到了制约。”

这导致ARJ21-700飞机不具备在单发或者单引气条件下为防冰系统供给热气的能力，当ARJ21-700飞机在单发或者单引气条件情况下打开机翼防冰系统后，气源系统就会出现超温报警而自动切断。

对于ARJ21-700飞机的全球首家用户——成都航空公司来说，这意味着，超过最低安全高度3000米的航线ARJ21-700飞机都不能运营，市场部门的报告显示，受此影响，国内500多条支线航线中，ARJ21-700飞机有300多条不能运营。

“我们不仅不能满足适航条款的要求，也无法实现对于市场，对于客户的承诺。”陈勇说，“这使我们陷入了空前的困境，我们站在悬崖边上，从没有哪一个技术问题让我们感到如此棘手，我们都知道在目前这个阶段对单发引起防冰系统进行更改意味着什么，那不仅是时间上的付出，研制成本的代价也是惊人的。”

事实上，单发引气防冰的问题并不是刚出现的问题，早在ARJ21-700飞机首飞前这个问题就在困扰着ARJ21项目的管理层。当时，为了解决预冷器超温的问题，还要不影响ARJ21-700飞机首飞的时间节点，飞机总体专业不得不更改了最初的功能设计需求：单发或者单引气条件下，飞机不派遣。

“虽然，发动机供应商GE公司与环控系统供应商LTS公司都对单发不防冰的使用限制进行过警示。”陈勇后悔地说，“但是，受制于首飞进度紧张，

加上在技术上没有认识到问题的严重程度，ARJ21-700飞机单发引气防冰问题错过了最佳的更改窗口期。”

“我们当时认为，当ARJ21-700飞机在结冰条件下遭遇到单发或者单引气条件时，只要不运营就可以了，所以，在最初的设计中，ARJ21-700飞机取消了单发或者单引气条件下防冰的系统构型。我们没有考虑航空公司的利益，也忽视了适航条款对于飞机安全性的要求，我们无意间给这些年轻的飞机设计师们留下了一个难题。”原上海飞机设计研究院环控室主任王锡华不无感慨地说，“今天，每一名飞机设计师都知道，‘研制飞机听市场的，如何研制飞机听适航的’，他们会在为飞机画下第一笔的时候就考虑这些因素，但是，我们当年，并没有这样的认识，那时候，ARJ21项目的进度是左右我们进行决策的核心……”

工程是多种核心技术在配套技术的支撑下所形成的集成，虽然工程意味着要在诸多的技术与矛盾中进行平衡与妥协，但更意味着必须为未来进行决策。

2009年，单发引气防冰的问题再次被上海的工程团队提了出来，但是迫于进入TIA的进度压力，问题再次被搁置，根据总师系统的决策，为了让试飞员在结冰条件下遭遇到单发或单引气条件时安全脱离结冰区，作为临时的补救措施，工程人员编制了复杂的补充程序。直到2012年，FAA在乌鲁木齐目击ARJ21-700飞机自然结冰试飞期间对飞行员手册进行审查，FAA审查代表通过邮件对单发引气防冰的问题正式提出了质疑。

CCAR25.1309(a)适航条款规定：系统设计必须保证在各种可预期的运行条件下能完成预定功能。“这意味着，如果ARJ21-700飞机要在结冰条件下运营，就必须表明飞机能够在结冰条件下安全运行，必须包括单发的情况。”李志茂说，“FAA提出了一种极端的情况：当飞机在起飞爬升阶段遭遇到单发或者单引气情况时，受到降落视界的要求，飞机需要近20分钟时间才能够返回机场，这种情况对于丧失了防冰系统的飞机来说，则是极度危险的情况。”

FAA判断ARJ21-700飞机由于单发引气防冰问题将不满足适航条款的要求，单发引气防冰问题终于将ARJ21项目推到了悬崖边上，到了必须做出决策的时候！至此，项目决策层才重新进行评估，并最终决策启动设计更改，此时，时间已过去了整整7年。

单发引气防冰更改涉及发动机本体、飞机总体、环控系统和航电系统，多家系统供应商都要对自己的系统进行调整。新增的短舱防冰系统引气导管需要从发动机引气，将热气供给短舱防冰系统使用，管路的重新布置引起了GE公司发动机本体硬件布置的更改，发动机更改又带来了飞机重量和性

能的变化，短舱防冰引气口更改以后，航电系统指示记录简图页和环控系统的控制软件也需要进行相应的设计更改，以满足新的设计需求。

2013年4月，工程设计人员从7个单发引气防冰备选方案中选出了最适合的更改方案。“实质上，在2009年的时候，虽然，总师系统没有采纳我们关于单发引气防冰更改的意见，但我们还是开始为将要发生的设计更改进行技术准备。”李革萍介绍说，“我们根据国外专家所给出的建议进行了计算分析和机上研发试验，这些数据的积累都为能快速形成更改方案奠定了技术基础。”

2014年9月，单发引气防冰更改构型贯彻到ARJ21-700飞机102架机上。

“你会发现，没有人愿意过多地谈起单发引气防冰的问题，在2004年用6个月就能解决的系统更改问题，到2012年却需要用两年的时间。受到取证进度的制约，以及对适航条款理解的局限性，使得申请人直到2012年才开始决策解决单发引气防冰的问题。”CAAC一位审查代表说，“决策越晚，付出的代价就越大，所以，工程设计人员要知道自己今天的决策对未来产生的影响，这是一种能力，更是一种责任，也是系统工程中各专业之间所有遵循的原则。而对于项目管理者来说，制订合理的项目研制计划也是对管理能力的一种考验。”

虽然ARJ21项目再次宣布延迟交付，但没有动摇国家自主发展国产商用飞机的意志与信心，ARJ21-700飞机让人们越来越清晰地意识到发展国家战略性产业的艰难与价值，它每天都在颠覆产业从业者的认知，每天都在推动着共识的形成，每天都让执着于梦想的人们有所收获，从来没有哪个时候，中国民机人离梦想的距离如此之近……

ARJ21-700飞机应该被看作是中国工业现代化进程中的一个里程碑式的工程，它不仅代表着我国国产客机达到了国际最高标准的要求，同时代表着我们具备整合国际资源、管理国际大型工程项目的能力，而最重要的是，我们具备面对复杂局面的成熟心态。

所有这些改变，不仅真正奠定了我国商用飞机产业的基础，更为我国大型高科技产业的发展提供了坐标与可供借鉴的经验。

2014年5月23日，国家主席习近平在上海考察调研时，专程来到中国商飞设计研发中心，他亲自登上C919展示样机的驾驶舱体验。习近平说，我们要做一个强国，就一定要把装备制造业搞上去，把大飞机搞上去，起带动作用、标志性作用。中国是最大的飞机市场，过去有人说造不如买、买不如租，这个逻辑要倒过来，要花更多资金来研发、制造自己的大飞机。

习近平对商飞公司成立6年来取得的成绩特别是在科研方面取得的突破表示肯定。他指出，大型客机研发和生产制造能力是一个国家航空水平的重要标志，也是一个国家整体实力的重要标志。制造大飞机承载着几代中国人的航空梦。我们的事业刚刚起步，前面的路还很长，但时间紧迫，容不得半点懈怠，要一以贯之、锲而不舍地抓下去，用前进的目标激励自己，用比较的差距鞭策自己，力争早日让我们自主研制的大型客机在蓝天上自由翱翔。总书记表示，“中国飞机制造业走过了一段艰难、坎坷、曲折的历程，现在是迈步从头越，势头很好，开局很好，希望大家锲而不舍，脚踏实地，我寄厚望于你们。”他叮嘱中国商飞公司负责人：“中国大飞机事业万里长征走了又一步，我们一定要有自己的大飞机。”

在中国最寒冷的地方进退两难

2013年12月29日，ARJ21-700飞机103架机从阎良转场至海拉尔东山机场，它和试验队员们将在这里迎接新年的第一缕阳光，也将在这里接受极度严寒条件下的一系列测试。

“我们需要零下40摄氏度的极寒温度，这是适航条款的要求。四年里我们进行了三次高寒试验，前两次最低气温只捕捉到零下35摄氏度，我们将希望寄托在这次。”辛旭东穿着厚厚的防寒服，咯吱咯吱地走在雪地上，他摘下帽子，并没有感觉特别得寒冷，“气象预报显示，最近几天都没有满足条款要求的气象条件，可我希望能有好运气，因为我有16项与高寒有关的测试要完成。”

虽然飘着小雪，但室外的气温只有零下11摄氏度，这让专程从广州赶来海拉尔的冬泳爱好者备感失望，“每年这时候都已经零下40度了，今年是暖冬，根据以往的经验，过了元旦气温就该回升了……”听着冬泳爱好者之间的聊天，辛旭东沮丧地说，“看来不仅是我们，那些喜欢挑战冰雪与严寒的朋友们也在期盼着一次降温的天气！一次极限的挑战！”

高寒试验、试飞是一个检查飞机综合性能的试验，涉及空调系统、气源系统、液压能源系统、起落架系统、电源系统、动力装置、辅助动力装置以及结构专业等多专业。

“高寒试验不是风险性科目，试验的难度在于如何在短暂的气象窗口时间内，最大限度而且是有效地去完成所有的测试任务，我们有8个专业的16项测试任务。”中国商用试飞中心副主任谭翔升介绍说，“在这样的情况下，为每个测试科目确定一个‘决断温度’是非常有必要的，例如对动力系统的考核温度是零下40摄氏度，‘决断温度’为零下38摄氏度，在这个温度下获得的测试结果可以通过技术手段推导到零下40摄氏度的数据，用以实现对适航条款的符合性。”

“按照适航条款的要求，ARJ21-700飞机动力装置高寒地面试验的目的是验证CF34-10A发动机在ARJ21-700飞机可预期的各种运行条件下的地面起动能力。”上海飞机设计研究院动力燃油专业飞机设计师何必海介绍说，“在进行高寒试验前，ARJ21-700飞机必须进行12个小时的冷浸透，在发动机起动的过程中，发动机不能出现超限现象，要在90秒内起动成功，达到慢车状态。”

辛旭东的电脑里不断地放着空客A380客机进行高寒试验的纪录片：“他们在进行高寒试验时就遇到了困难，发动机在冷浸透12个小时后，不但没有一次性起动成功，反而一个关键性的试验件还出现了故障，希望我们的运气不会那么糟。”

上海飞机设计研究院动力燃油专业飞机设计师刘大穿着厚厚的防寒服和试飞院的机务人员一起做着试验前的准备，“高寒试验中的16项测试任务都需要使用ARJ21-700飞机的辅助动力系统（APU），特别是地面试验科目，除了APU系统自身的再起动地面试验以及工作特性地面试验科目，高寒条件下的全机检查、发动机起动、环控系统快速加温、冷态加温以及气源系统测试等科目都要求起动APU并引气。所以，我们APU系统的表现非常关键，我希望它能完成测试，不然所有试验都会受到影响。”

2013年12月31日，海拉尔零下13.5摄氏度……

在冷浸透12个小时后，ARJ21-700飞机103架机在海拉尔机场进行了低温条件下APU起动预试。“我们起动了四次，APU转速达到34%～42%就出现了自动停车的现象，并伴有排气口大量未燃烧的白色油雾喷出。”刘大说，“一切都糟糕透了！”

根据供应商的排除故障手册和以往的经验，飞机设计师们认为是为APU供油的系统，以及燃油模块出现了故障。当天夜里，试验人员对燃油模块进行了更换，但是APU依然无法起动。

“我听见远处响彻着迎接新年的爆竹声，烟花在湛蓝的夜空中绽放，雪白的大地，晶莹剔透的冰霜，就像是进入了奇幻的冰雪王国……”刘大沮丧地说，“可是我只想听到APU转动的嗡嗡声，我们本来应该用这个声音来迎接新年的……”

谭翔升和辛旭东安慰着坐在椅子上不断自责的刘大与何必海，两个人坐在房间已经有一会儿了，可是身上还冒着凉气，看来是在机场时已经冻透了。

“这些年轻人承担着与自己年龄极不相符的压力与责任，由于产业政策波

动的原因，我们没有像波音或者空客公司那样厚重的历史与经验的传承，我们没有为年轻人积累下什么，甚至需要他们在挫折中快速地成长，需要他们用青春来铸就ARJ21-700飞机。因为，这不仅是一款飞机，更是中国商用航空产业赖以发展的平台。”时任中国商飞西安外场试验队书记吴建军说。

不知道从什么时候开始，西安外场试验队的年轻人开始称ARJ21-700飞机为“阿娇”！在ARJ21-700飞机出现故障的时候，他们就像是对自己的情侣说话一样对着飞机说：“阿娇，不要闹脾气，你要乖一点……”也有人在被ARJ21-700飞机的技术问题弄得焦头烂额的时候说：“阿娇虐我千百遍，我待阿娇如初恋……”还有人在因为大部分时间待在阎良研制现场而与朋友分开的时候会对着飞机说：“阿娇，你要争气，你要做到最棒……”

“或许在这些年轻人眼里，阿娇是最美的，但在我眼里，这些年轻人是最美的，也是我们最宝贵的财富。”吴建军说。

2014年1月1日，新年的第一天，APU供应商于水就赶到了海拉尔，根据他的经验，仍然认为故障出在APU供油系统方面，决定更换用于控制燃油模块向APU供油的电子起动控制器，然而APU依然无法起动。

“影响APU起动的因素归纳起来主要为油、电和气三个要素，只有当电路完好，供油与供气达到完美匹配，APU才能成功起动，我们解决问题的思路就是顺着这三个方向去一一排查。”刘大介绍说，“由于更换APU电缆时，插拔防喘阀插头使得原来由于漏气的防喘阀偶然闭合，导致APU起动成功，这给了我们很大的误导，使我们花费了大量的时间和精力对电路系统进行排查。”

最终设计人员发现，APU起动失败故障的原因既不是供油不足，也不是电路问题，而是防喘阀漏气导致供气不足，造成起动过程中富油熄火所致，但这只是造成APU无法起动的一个原因。

“更换了防喘阀后，APU虽然可以起动，却无法保证每次都能起动成功。”何必海介绍说，“最终，我们对APU进行了孔探，发现压气机部分叶片弯曲并有损伤，这是造成APU无法起动的第二个原因。”

此时海拉尔的温度却在逐渐下降，零下27.3摄氏度、零下35.7摄氏度、零下35.9摄氏度……“温度正在接近试验条件，可是APU的故障却不能在海拉尔进行维修。是将试验队全部撤回阎良，结束这次高寒试验，还是让ARJ21-700飞机回阎良维修后再回来继续等气象条件……”辛旭东说，“我们在中国最寒冷的地方进退两难！”

“回去！103架机回阎良更换APU后再转场海拉尔，试验队要抓紧时间等103架机回来后继续做高寒试验。”罗荣怀说，“我们不能放弃任何机会，四年里我们做了三次高寒试验，这次我盼望能够获得成功！”

在高寒试验中承受压力的不仅仅是APU专业，环控系统同样要接受考验。之前两次的高寒试验试飞结果表明，ARJ21-700飞机客舱温度场分层问题严重。

“最严重的情况出现高寒试验地面状态，客舱上下温差最大可达20摄氏度以上，乘客的感受是头热脚却凉，这不能满足上下温差不超过正负3.5摄氏度的设计要求。”辛旭东介绍说，“我们必须解决这个问题，虽然CCAR25-R3条款中没有对客舱、驾驶舱温度场、流场均匀程度做出定性和定量的约束，我们也必须保证乘坐ARJ21-700飞机的舒适性，这是我们对客户的承诺。”

商用飞机的飞行高度一般在9000～12000米，舱外环境温度可低至零下40摄氏度至零下65摄氏度左右，即使在如此极端的环境下，也要维持客舱温度在合适的范围。因为，舒适性已经成为决定一款现代商用飞机商用成功的关键指标，而客舱温度是旅客感受商用飞机舒适性最直接的因素。

“在实际运营中，一般先进行快速加温使得客舱温度达到设定温度后，再进行稳态加温维持客舱温度在设定温度，这样客舱地板附近温度达到0摄氏度以上后再起飞，再加上座舱人员热载荷的影响，随着飞机保持高度平飞后，客舱温度场分层趋势减弱。”辛旭东说，“我认为适航条款一定会修订这方面的要求，只是时间早晚的问题，所以，我们需要对验证条款的方法进行探索，做好充分的准备。舒适性，甚至是人体细微的感受都会引发航空界一场新的竞争。”

2014年1月11日，好运气终于眷顾了苦心坚守的高寒试验团队。在103架机返回海拉尔之后就遇到了零下40摄氏度的好天气，甚至出现了零下43.2摄氏度的极寒天气，为了抓住最严酷的极寒试验窗口，试验人员凌晨三点半就准时进场做试验。

极度严寒的条件不仅影响电子设备的性能，而且对人体的生理乃至心理都会产生严重的影响。医学研究表明，人体要维持正常的活动，体温必须保持在36至37摄氏度，如果连续暴露在严寒中2～3小时，人体手部力量就会降低20%～30%，神经传输作用就会受到阻碍。当人体体温下降到32摄氏度时，人体就会出现麻木的现象，大脑有可能失去判断力。对严寒产生恐惧的心理状态会抑制人体自身热量的产生，使抵御寒冷的能力大大降低，极度寒冷的环境会削弱人的意志力。

“冷！手冻得像猫咬的一样，手伸在衣服外面两分钟就冻僵了，手机也失灵了，不得不把手机贴在胸口先暖和暖和后再打。”辛旭东说，“最难的是我们的机务人员，ARJ21-700飞机的尾锥上结着长长的冰溜子，机务人员坐着升降机检查飞机，还要给飞机除冰。”

试飞院ARJ21-700飞机机务中队中队长顾仁琬可以说是最了解这架飞机的人，“手不能直接和金属接触，粘上一撕就掉一层皮，但干细活讲究手感，我们只能不戴手套，先用暖风机把金属表面吹一吹，等热了再抓紧时间干。”

“在试验现场，人的活动、开动的汽车都会对温度造成较大影响，特别是在每天气温最低的时候，海拉尔机场的两个气象站，靠近飞机的和远离飞机的温度甚至可以相差4～5摄氏度，为了捕捉理想的试验温度，还要排除人员活动对场温的影响……”三年的高寒试验已经让谭翔升积累了丰富的外场经验。

事实上，这是一群很值得尊重的人，尤其是年轻的工程人员，他们每天都在刷新着我们对于商用飞机的认知，每天都在为中国商用航空产业的发展留下新的坐标。他们正处在时代变革的关键时期，如何完成中国航空制造业的转型与升级，取决于国家的智慧，取决于产业从业者的职业化，更取决于公众心态的成熟，这对ARJ21-700飞机和他的研制者们都是极大的挑战。

在六年的试验试飞过程中，ARJ21-700飞机经历了高温、高寒、大侧风与自然结冰等极端气象条件的52项考验，为了获得在各种极端严酷条件下的飞行性能和系统工作特性，试验队坚守在零下43.2摄氏度的呼伦贝尔海拉尔机场；在零上55摄氏度的长沙大坨铺机场追逐烈日；三进飞沙走石、侧风风速高至10米/秒的嘉峪关鼎新机场；在空气稀薄、海拔达到2842米的青海格尔木机场创下了一天试飞10个驾次的高效纪录……

“即使我们经历了一系列意想不到的挫折，但是我们解决了所有问题，包括那些我们认为不可能完成的任务。”在中国商飞公司董事长金壮龙看来，ARJ21项目的真正价值在于积累了商用飞机研制的完整经验，建立了一个完整的民机试验试飞体系，与此同时，CAAC也具有了与世界同行同等的适航审定能力，而这一切的实现都离不开这架飞机——ARJ21-700飞机。

ARJ21项目是一部波澜壮阔的创业史，无论是针对争夺航空市场的博弈，还是国家寻找新的产业支撑的决策；无论是实体经济思维下的创业，还是资本运作理念的崛起；无论是技术上的突破，还是建立工业化的思维……这个项目都将深深地影响每一个人，乃至国家工业化的进程。

2014年珠海航展期间，84岁的运-10飞机副总设计师程不时先生在中国商飞公司举行的“大飞机之夜”上演奏了一首小提琴曲。琴声悠扬，诉说着他一世的梦想与期待，灯光下，他的头发是那样的雪白，而琴声中，他的大飞机梦想却依然充满着活力。他想起了乘坐自己27岁时设计的飞机，编队飞越美国75万人会场时，人们起身为他鼓掌的情景；他想起了运-10飞机首飞时的自己……这一幕让人想起了丁尼生（Alfred Tennyson Baron）的诗：

虽然我们的力量已不如当初，

已远非昔日移天动地的雄姿，

但我们仍是我们，英雄的心

尽管被时间消磨，被命运削弱，

我们的意志坚强如故，坚持着

奋斗、探索、寻求，而不屈服……

祖国，终将选择那些忠诚于祖国的人！祖国，终将记住那些奉献于祖国的人！

第七章
什么才是驾驶舱里的最高职责



为了推动ARJ21项目的进展，为了打破FAA的质疑与制约，为了使ARJ21-700飞机不断地臻于完美，ARJ21-700飞机的试飞团队用自己的敬业精神与使命感挑战云端，诠释着什么才是驾驶舱里的最高职责

由于ARJ21-700飞机所采用的审定基础是目前国际上最新的适航标准，因此其安全性标准更高，所带来的审定试飞难度与风险性也充满更多的挑战。几乎每一天，无论是申请人试飞团队还是局方试飞团队都在用生命创造着“零的突破”，填补着中国商用飞机适航审定试飞技术的空白，也为中国商用飞机试飞以及适航审定体系的完善与发展留下了新的坐标。

为了推动ARJ21项目的进展，为了打破FAA的质疑与制约，为了使ARJ21-700飞机不断地臻于完美，ARJ21-700飞机的试飞团队用自己的敬业精神与使命感挑战云端，诠释着什么才是驾驶舱里的最高职责。

42秒的时间里飞机的高度损失了3230英尺

事实上，ARJ21-700飞机的试飞团队包括两部分人，在2008年101架机首飞到2012年ARJ21项目进入局方审定试飞阶段，ARJ21-700飞机的试飞工作是由申请人试飞员承担的。在此期间，他们要完成基础性以及拓展飞机包线的试飞任务，例如空速校准、颤振和失速试飞。而在进入局方审定试飞后，ARJ21-700飞机的审定试飞工作就是由申请人试飞员与局方试飞员共同参与完成的。

“80%的试飞科目是先由工业方进行表明条款符合性的申请人试飞，然后再由局方进行确认条款符合性的局方审定试飞，而对于那些高风险性、依赖自然气象条件才能完成的试飞科目，我们则采取申请人与局方试飞员并行试飞的模式，例如自然结冰试飞、大侧风试飞以及溅水试验等。”上海适航审定中心飞行性能室主任揭裕文介绍说，“作为代表公众利益的局方，在关注ARJ21-700飞机安全性的同时，我们也要尽量减少申请人为此付出的成本代价。”

一名试飞员一生中会经历成千上万次的起飞与着陆，其中大多数会犹如过眼云烟，但总会有那么一两次特殊的飞行令试飞员面临挑战，甚至生死抉择。这些来自驾驶舱里的经历给他们以经验，从而让他们对这次试飞永生难忘，也让他们对于什么是驾驶舱里的最高职责形成自己的理解。

2013年7月19日，申请人试飞员赵明禹和局方试飞团队就经历了一次让他们终身难忘的试飞，“我们意外进入了颠倾，飞机上仰趋势超出了推杆器的保护能力，在42秒的时间里，ARJ21-700飞机瞬间损失了3230英尺的高度，当时，我们认为自己再也回不去了……”

7月19日12时12分，ARJ21-700飞机101架机在阎良机场起飞，当天进行的是“过载杆力梯度—机动特性”的局方审定试飞，这项试飞的目的是验证未来ARJ21-700飞机的航线飞行员，即使是使用平均水平的驾驶技巧也能够在飞机的使用包线内平稳的完成任何使用机动，而不超过ARJ21-700飞机的任何结构限制。

“这项试飞任务需要试飞员在3000米的目标高度和146节的目标速度下实现2.0g的目标过载，这对试飞员的综合技巧提出了考验。”赵克良介绍说，“通常试飞员会采用收敛转弯或者推拉杆方式进行这项试飞，收敛转弯的方法是通过不断增加滚转角并缓慢拉杆，实现过载逐渐增大直至目标过载，而推拉杆方法则是通过阶跃升降舵实现目标过载。”

但是在进行任务协同的时候，由于临时调换了试飞任务，局方试飞员对究竟使用哪一种试飞方法一时还拿不定主意。

“事实上，这两种方法各有利弊，使用收敛转弯的试飞方法，飞机的迎角

是逐渐增加的，虽然需要综合考虑的因素很多，但是，试飞员也更容易控制飞机逐渐达到目标过载的过程。”赵明禹介绍说，“而推拉杆法，虽然需要综合考虑的因素相对少一些，但要求试飞员要在瞬间将飞机的高度、速度和目标过载同时操纵到位，这对试飞员的操纵技巧提出了考验，所以，推拉杆方法应该是在循序渐进的原则下进行，试飞员需要先熟悉小过载试飞，再去实现目标过载的试飞。”

最终，局方试飞员采用了自己熟悉的推拉杆法进行试飞，但在实施2.0g过载的试验点时，速度始终不符合试飞大纲的要求。

上海适航审定中心试飞工程师张海涛看着机上的监控数据说：“我们要求的目标速度是146节，浮动的最大速度不能超过150.4节，但是，前两次的速度都超出了这个范围，所以，试飞机组必须进行第三次尝试。”

在局方试飞员进行操纵的同时，作为安全机长的赵明禹负责监控101架机的状态，他将全部精力都用来关注不能让101架机上仰的角度超过20度，“因为超过了20度，飞机上仰的惯性就难以控制了，那是非常危险的情况…… ”

试飞机组对2.0g过载的试验点进行第三次尝试。突然，赵明禹感觉101架机的机头瞬间就开始上仰，他快速地扫了一眼地平仪，指示上仰角度已经超过了20度，他意识到他们遇到了麻烦。紧接着飞机的抖杆器就被触发了，仅0.65秒后飞机的推杆器也被触发。但是，所有的这些保护并没有抑制住飞机上仰的趋势……

“我意识到，飞机上仰趋势已经完全超出了推杆器的保护能力，我们进入了最可怕的颠倾状态……”赵明禹说，“我赶紧把驾驶杆前推到最大的限度，我希望降低飞机抬头的速率，能够产生使飞机低头的力矩。但是，由于较大的俯仰角速度导致飞机有很大的继续抬头的惯性，所以，飞机机身的迎角仍然在继续增大……

坐在后舱的申请人试飞员陈明、试飞工程师殷湘涛还有张海涛都已经意识到他们正处在风险的边缘，他们尽量让自己保持镇静，密切地关注着飞机上的每一个数据参数，关注着每一个系统的状态。但是，有那么一个瞬间，他们还是想到了自己的家人，想到了今天或许再也回不去了……

“我感觉时间过得很慢，或者，我已经失去了时间的概念，驾驶舱里似乎变得很安静，我扫了一眼速度表，发现已经没有了速度的指示。我试着推了一下油门，太好了，我感觉发动机的响应是正常的，这是唯一值得高兴的信息……”赵明禹说，“此时飞机的俯仰角达到了40度，我们处在最危险的颠倾状态，已经超出了失速保护系统的能力，我仍然把驾驶杆前推到最

大限度，死死地推着驾驶杆，可是飞机依然高昂着头，我恨不得爬出去把机头按下去……”

即使再富有经验的教员也无法告诉自己的学员在驾驶舱里会发生什么，尤其是面对一架处于试飞阶段的飞机。某种程度上，每一次试飞都是人与飞机互相检验的过程，既是试飞员在检验着飞机的性能，同时也是飞机在考验着试飞员对于飞机的理解，危机的时刻只有真正的人机合一才能创造奇迹。

“我意识到，我必须想尽一切办法让飞机动起来。”当时赵明禹只有两个选择，要么依靠水平安定面的配平，要么用横侧的滚转，就在此时，101架机已经开始缓慢地向左滚转了……

“要知道，这可是非常好的趋势，101机开始出现了滚转，机头已经开始向下掉，只要飞机动起来，试飞员就可以让飞机扭头增速了……”张海涛果断地处理着飞机的监控数据。即使在十分危急的时刻，他都必须冷静地为试飞机组及时提供用于决策的详细数据，“但是，滚转也可能导致更加严酷的局面，我们不知道飞机副翼的效率能否抑制住这种滚转。”

“是的，这是我们接下来要面对的困境，如果副翼的效率不能抑制飞机的滚转，导致101架机倒扣过来，那就是灾难性的。”赵明禹说，“对于飞机来说，没有速度是极其可怕的情况，只要有速度，作为试飞员，我就有创造一切奇迹的可能。”

幸运的是，101架机副翼还有足够的效率，能够控制住滚转的坡度。“飞机开始增速，甚至是快速地增速，我意识到，我们此时已经脱离了危险，剩下就是改出颠倾的问题了，这是我们训练过很多次的内容，我丝毫不用再担心了。”赵明禹说，“我很高兴的是，我将101架机带回来了，我们知道这架飞机对于中国商用飞机事业意味着什么，而我更庆幸的是，我能将飞机上所有的人都带回来，对于我来说，这就是驾驶舱里的最高职责。”

在整个机动过程中，101架机迎角最大达到42度，试飞员从开始推杆执行机动动作到完成改平并恢复正常飞行，在决定生死的42秒的时间里，飞机高度损失了3123英尺，整个机组与死神擦肩而过……

当飞机平稳地降落在试飞院的机场上，赵明禹和机上的所有人一起走下了飞机，当他看到来迎接自己的赵鹏，眼泪一下子就流了下来。“因为他是ARJ21-700飞机的首席试飞员，更是我的朋友，试飞员之间不需要语言，我不需要对试飞过程进行描述，他就知道我们经历了什么……”赵明禹说。

“我感到非常骄傲，在整个过程中，试飞员的一系列操作都没有任何的拖泥带水，如果他们有任何的差错或者犹豫都会使我们失去ARJ21-700飞机，失去今天的试飞机组……”赵鹏说，“作为试飞员，没有人能真正地告诉我们如何预防驾驶舱内发生的事情，任何一次试飞都不是冒险，我们必须铭记在驾驶舱里什么才是最重要的，并且深明其中的缘由……”

事件发生后，CAAC收回了101架机的特许飞行证，并停止了ARJ21-700飞机所有高风险局方审定试飞科目的飞行。

随后，在对试飞数据进行分析后，工程人员发现ARJ21-700飞机的飞控系统响应符合控制律设计；左、右发动机没有超温、转速及振动值超限现象，大攻角下由于进气道气流畸变导致的发动机轻微喘振，不会影响发动机系统正常工作；失速保护系统按设计要求触发了推杆功能，并完成了整个推杆行程，其功能正常并满足设计逻辑。

“这意味着在整个事件过程中，ARJ21-700飞机相关系统均工作正常，ARJ21-700的结构强度也承受住了最严酷的考验。”揭裕文介绍说，“经过调查后，我们认为，出现进入颠倾状态的直接原因是局方试飞员为实现2.0g过载，在快速俯仰机动过程中，飞机上仰趋势超出了推杆器的保护能力，造成飞机进入颠倾，试飞前局方试飞员临时更换了试飞科目，造成试飞前准备工作的仓促。”

事实上，试飞员的职业不只是要求精湛的技术、渊博的知识，以及只能来自经验的判断力，同时还要要求有一种对卓越的不懈追求。这个职业要求具备一种更深的理解力，正是基于对飞行职业的深刻理解，使他们能够在遇到问题的时候迅速地做出反应，并以一种新的方式把他们已有的知识应用到他们从未接受过特别训练的情景之中。

“在每一次试飞过程中，我们整个机组成员通过机组资源管理以及其他开创性的探索，在驾驶舱里达到默契的通力配合，我们听从每一个层级的专业意见，每一个程序，归根结底，所有的这些努力，都是为了实现公共航空安全。”赵明禹说，“在我看来，这就是试飞员这个职业的最高职责。”

在试飞院有个传统，任何人不会在试飞员起飞前对他们拍照，原因已经没有人能说得清楚。每次进入驾驶舱前，试飞员总是会围着自己的飞机走上一圈，检查一下飞机的外观，尤其会对在本次试飞中要承受考核的位置给予更多的关注。他们在进入驾驶舱之前总是会和机务人员聊上两句，然后坐进驾驶舱，在接下来的过程中，他们要照顾好ARJ21-700飞机，当然，他们也希望“阿娇”能够完成所有的任务，将他们平安地带回来。

“或许在很多人的眼里，试飞员的工作就是去处理空中险情，事实上，试

飞员首先是科研人员，我们在驾驶舱里的最高职责是体验航空器的真实性能，然后用最准确的操纵获得工程人员所需要的试飞数据。”中国飞行试验研究院副院长、国际试飞员张景亭说，“一旦在试飞中发现了问题，我们应该能够用工程的语言描述飞机的状态，所以，很多试飞科目非常注重试飞员的评述，这才是我们试飞工作的核心所在。”

作为一名资深的民航人，张海涛的父亲在这次事件结束后对赵越让说，“我只有一个儿子，如果在那天他牺牲了，我一定会很伤心，但这是他选择的职业，他热爱的职业。即使有人为此付出生命，我们也不能就此停止在商用飞机领域探索的脚步。我们都知道，今天航空业的高速发展、航空安全标准的日臻完善正是这些叩问天空的人，这些被誉为‘刀尖上舞者’的试飞团队，用勇气与智慧将航空器征服得日臻完美，是他们用生命为我们锻造了‘中国之翼’，让我们离梦想越来越近……”

全世界没有几个人能“玩”得了这把“刮胡刀”

在首席试飞员赵鹏看来，在ARJ21-700飞机所有的试飞科目中，风险最高的科目应该是地面最小操纵速度，而试飞难度最大的应该是最小离地速度。

国际试飞界将最小离地速度试飞比喻为“就像用刮胡刀刮脸”。飞机上安装的尾撬系统就是“刮胡刀”，跑道就是“脸”。在整个试飞过程中，试飞员要保持飞机的尾橇触地姿态，一直持续到飞机脱离地面效应，飞机腾空后俯仰姿态还不能减小。这个过程就像“用刮胡刀刮脸”一样，飞机尾橇与地面甚至能摩擦出飞溅的火花，属于危险性与观赏性极高的试飞科目，对试飞员的试飞技巧以及对飞机的综合掌握程度都提出了挑战。

“总之，就是要精准操纵，手上的劲多一分，就会擦伤飞机的尾椎，而少一分，就不能达到考核的要求，所以国际上能完成最小离地速度试飞的试飞员不超过10个。即使是经验丰富的空客A380飞机试飞团队，在进行这项试飞的时候也遇到了最糟糕的局面，A380飞机的尾椎被擦坏了，耽误了整个项目的进度。”赵鹏说，“当我和我的试飞团队说，我们自己来‘玩’这把‘刮胡刀’的时候，所有人都摇着头告诉我，这是不可能完成的任务。”

最小离地速度是指飞机不呈现任何危险特性，能够在离地后继续起飞的最小速度，是运输类飞机起飞极限性能达到的速度。最小离地速度试飞对运输类飞机起飞速度制定和起飞安全性评估具有非常重要的意义，同时也是商用飞机试飞难度最大的风险科目。

张健介绍说：“最小离地速度试飞是在受地面效应影响条件下的低速大迎角试飞科目，风险性是综合体现的，我想这也是FAA将其作为‘影子审

查’现场目击项目的原因，或许他们并不相信中国人能独立完成这项试飞。”

“首先，试飞员很难对飞机建立稳定的尾橇擦地姿态，在尾橇触地滑跑的过程中，飞机的仰角很大，试飞员几乎看不到跑道，很难保持飞机姿态和方向。更大的风险还在于，很容易导致低高度失速现象，如果出现这种情况，试飞员根本没有任何时间和空间来挽救飞机……”赵克良几乎把每个试飞中会出现的风险都考虑到了，“在大仰角姿态下起飞，我们还要评估发动机的性能，甚至飞机意外撞地或者偏离跑道的风险……总之，操控这把‘刮胡刀’并不容易。”

“事实上，我认为我们并不缺少技术，而是需要建立自信心，需要专注的精神，甚至是以秒计算每个动作的精准程度，我们不能依靠外籍试飞员来完成这项试飞，该是展现我们自己能力的时候。”赵鹏说，“但是自信并不是盲目建立的，是通过科学的训练方法、严谨的技术评估来实现的。”

飞机设计师计算出的最大仰角姿态是14.2度，在进行过渡性训练的时候，赵鹏和赵生需要先从建立10度的仰角姿态开始，每次增加0.5度，逐渐逼近理论计算的最大仰角。

“驾驶舱内安装着尾撬预触地的指示灯，适航条款要求尾撬从开始触地到飞机脱离地面效应起飞期间，尾部要有50%的时间必须保持与地面的接触，但是尾撬是会有反弹力的，这50%的时间很难精准控制，我们需要在驾驶舱里寻找这种‘刮胡刀刮脸’的感觉。”赵生介绍说。

尾撬对于最小离地速度试飞中可能产生摩擦的区域提供了保护的作用，它的材料必须耐磨性好，导热性差，同时还要具有阻燃特性。尾撬要提供预触地信号和触地信号，同时还要在驾驶舱内显示尾撬触地的状态，给试飞员提供更多的判断信息。

赵鹏说：“最小离地速度试飞面临着低空失速的风险，无论是FAA还是国际试飞领域的同行都在关心同一个问题：在试飞过程中，你的抖杆器和推杆器是接通的还是断开的？”事实上，大仰角飞行就是游走在失速的边缘，抖杆器接通的优势是能够保护试飞员在临界仰角范围内进行操纵，缺点是会干扰试飞员的判断与操作。

适航条款要求飞机在离地后不能让仰角姿态减小，只能逐渐增大，同时高度限制在100英尺以内，速度不能增加10%，如果出现低高度失速，就是一场任何人都无法挽救的灾难，飞机会直接拍向地面，所以，抖杆器和推杆器的接通就非常重要。

“在整个试飞过程中，ARJ21-700飞机抖杆器是接通的，时刻提醒试飞机组飞机的迎角状态，但是推杆器是断开的，原因在于，从推杆器工作到飞机真正发生气动失速还有接近1度的保护。我宁愿把这1度的保护抓在自己手里，也不愿意让推杆器替我决策。”赵鹏介绍说，“我更相信自己的把握，飞机的自动化程度越来越高，保护的程度越来越周密，但是，绝大多数试飞员还是希望将最终的决定权留给人而不是程序。如果在低高度推杆器工作了，我们就没有挽救飞机的可能，推杆器会把ARJ21-700飞机直接推到地上，我们没有任何希望再把飞机拉起来，任何处置都会导致灾难性的结果……”

2013年5月9日，赵鹏作为CAAC的局方试飞员与申请人试飞员赵生在试飞院进行了中国首例按照CCAR25适航标准执行的ARJ21-700飞机最小离地速度试飞，CAAC与FAA的代表全程目击了试验的过程。

“迎角一定不能增加得过快，赵生不断地给我报着迎角和速度的数据。”赵鹏说，“前期的动作是剧烈的，我们要让飞机剧烈地抬头，但是一旦逼近了临界迎角就一定是毫厘间的修正，与其说是我们看得准，不如说是感觉得准确，只要‘刮’上了，就不能弹跳，我们要克服尾撬的回弹力……”

事实上，试飞员更需要感觉，赵鹏经常会告诉自己的学员，永远不能和飞机较劲，不能去驾驭飞机而是融入飞机，“要知道驾驶舱内是你在飞行，机翼就是你的翅膀，如果你总是想控制它，那你就永远不会感受到‘人机合一’的感觉，你一定要知道，如何让飞机表现出你所期望的能力……”

目击了整个试飞过程后，FAA审查代表看着磨损的尾撬和完美的试验数据说：“这是一次杰出的试飞。”在试飞过程中，ARJ21-700飞机尾橇触地滑跑时的最大迎角达到了13.8度，保持尾撬擦地姿态16秒，飞机时刻面临冲出跑道的危险，在距离跑道200米时起飞离地。摄影师拍下的ARJ21-700飞机尾撬擦地火花飞溅的照片也成为ARJ21项目试飞中最经典的瞬间。

赵鹏说：“我们把‘刮胡刀’玩得不错，我们经受住了考验。”

2013年9月25日至28日，国际试飞员协会第57届年会在美国加利福尼亚州阿纳海姆举行，全世界领域内的杰出试飞员与试飞工程师齐聚一起，交流试飞驾驶技术，分享航空安全的经验。来自美国军方以及航空工业部门的试飞员及试飞工程师代表向大会呈现了30多篇主题报告，交流世界试飞技术的发展和工业部门的最新成就。与以往不同的是，在这次国际试飞员大会上，出现了来自中国试飞员的声音，中国航空业的发展成为那次大会最热的话题。

“我作了题为‘受几何限制类飞机最小离地速度试飞驾驶技术和风险控制’的

大会交流报告，介绍了ARJ21-700飞机的最小离地速度试飞。”赵鹏介绍说，“这些国际杰出的试飞员与试飞工程师同样关心抖杆器与推杆器接通的问题，我用心向他们解释技术思路和工程实践的脉络，很多坐在后排的人甚至站起来倾听和提问，现场的交流超乎了我的预料。事实上，这个成立于1965年的国际试飞员协会在接收会员时主要看中的就是是否正在从事试飞工作。”

在赵鹏结束演讲走回自己座位的时候，很多国家的试飞员都从座位上站起来和他握手，向他表示祝贺：“我们非常享受听你的演讲，这是中国对国际试飞安全的贡献。”

“那一刻，我的确感觉很自豪，并不是因为我个人的成就，而是在这个国际性的航空俱乐部里终于再次响起了中国试飞员的声音，世界再次看到了来自中国商用航空领域的发展。”赵鹏说，“为世界航空安全的发展贡献智慧，通过自身的实力赢得了世界的尊重，在我看来，这就是我坐在驾驶舱里的最高职责。”

2007年1月，赵鹏作为中国试飞员学院的院长到法国试飞员学院进行考察，法国试飞员学院为了展示教学能力，安排了图卢兹的试飞员陪着赵鹏体验飞行。“到了空中后，图卢兹的试飞员说，按照飞行计划现在该你飞了，然后，他就懒散地靠在椅子上，他的肢体语言似乎在说，你们中国试飞员会做什么啊！”赵鹏说，“我驾驶飞机感受了一下法国试飞员学院的教学环境，丝毫没有被他的傲慢影响，反而是他逐渐地坐直了身体，最后说，‘你不需要来这儿培训，你的能力甚至比我们个别教员还要好。’”

“是的，我的确不是来培训的，我是来考察你们的教学能力的……”这件事给赵鹏留下了深刻印象，“虽然很多人会说，是我们试飞员千锤百炼了ARJ21-700飞机，但是，在我看来，正是ARJ21-700飞机的成功提升了我们中国试飞员在国际上的地位，我们应该感谢‘阿娇’，感谢这个商用飞机产业赖以发展的平台。”

为了获得ARJ21-700在各种极端严酷条件下的飞行性能和系统工作特性，无论是CAAC试飞员还是申请人试飞员，他们跟随工程人员坚守在零下43.2摄氏度的呼伦贝尔海拉尔机场；在零上55摄氏度的长沙大坨铺机场追逐烈日；三进飞沙走石，侧风风速高至10米/秒的嘉峪关鼎新机场；在空气稀薄，海拔高度达到2842米的青海格尔木机场创下了一天试飞10个架次的高效纪录……

“我们从来没有在意自己是否会在这场远征中获得满分，但我们注定是完成这场远征的探路者，或许等到ARJ21-700飞机组成编队飞行的时候，驾驶舱将变得不再神秘，它能诠释中国人对于飞行、对于航空安全的理解，

我想那个时候，就是国产商用飞机进入商用航空时代的时候。”赵鹏说。

我们是保证飞行安全的“第一道堤坝”

中国民航上海适航审定中心试飞团队是中国唯一一支专业从事民机适航审定的试飞团队。自2011年成立以来，他们代表中国公众利益，对ARJ21-700飞机以及波音B787飞机等国内外商用飞机进行严格试飞，成为保证飞行安全的“第一道堤坝”；他们成功突破国际技术限制，自主完成ARJ21-700飞机一系列高风险科目的审定试飞，缩短了ARJ21-700飞机适航取证周期；他们创造了中国民机审定试飞中一系列“零的突破”，在与国际同行同场竞技中迅速接轨国际先进水平；他们结束了中国长期在引进国外商用飞机进行型号合格认可审定时不能进行试飞的被动局面，为中国商用飞机产业的发展与公共航空安全奠定了坚实的基础。

“ARJ21-700飞机的适航取证不仅关系着中国民机产业的崛起，也肩负着CAAC与FAA适航双边扩展的重任。”沈晓明介绍说，“在项目伊始，FAA不仅针对ARJ21-700飞机的设计问题、符合性验证方法以及试飞组织管理等问题提出疑问，更针对CAAC没有独立的审定试飞团队提出质疑，FAA认为，在这种情况下，CAAC不具备准确判断ARJ21-700飞机试飞结果的能力。”

“我们局方试飞团队就是在这种情况下组建的，组建伊始就临危受命肩负着打破封锁与质疑，迅速接轨国际先进审定试飞水平的重任。”揭裕文说。

2011年年初，局方试飞团队分别完成了空客和美国国家试飞员学校(NTPS)的试飞员/试飞工程师培训，组建成中国首支专业从事民机适航审定的试飞团队，从此全面肩负起ARJ21-700的审定试飞任务。

2012年2月29日，ARJ21-700飞机型号合格审查组首次进行了局方审定试飞，局方试飞团队同一天正式公开亮相，这被看作是ARJ21-700飞机型号合格审定进程中的里程碑事件，意味着我国从此结束了CAAC不能独立自主开展审定试飞的尴尬历史，亿万国人的飞行安全有了“第一道堤坝”的保障。

2014年2月11日，中美局方围绕着ARJ21-700飞机适航审定工作的角力正在悄然进行，CAAC希望FAA试飞员能够尽快展开ARJ21-700飞机的熟悉性试飞工作，然而即使面对ARJ21-700飞机详尽的试飞性能数据，FAA试飞员似乎仍然没有建立足够的飞行信心。

“FAA试飞员的登机试飞是‘影子审查’的关键一项工作。事实上，FAA试飞

员更希望从局方试飞团队这里获得对于ARJ21-700操纵品质以及安全性的直观判断。”沈晓明说。

然而，在局方试飞团队组建之初，这支平均年龄只有37岁的年轻团队，除了丰富的飞行经历令国际同行羡慕之外，试飞审定经验的缺乏并不能使他们获得更多的尊重与认同。在随后三年ARJ21项目的审定试飞期间，无论是游走于生死边缘的高风险性的试飞，还是依靠极端气象条件的复杂性试验，局方试飞团队正是凭借着坚强的意志、扎实的理论功底，在与掌握世界最高适航审定技术的国际同行同场竞技中迅速接轨于国际一流水平。

长期以来，中国在引进国际商用飞机进行型号合格认可审定时不能进行试飞，这一被动局面直到局方试飞团队的成立才得以扭转。

美国波音公司B787飞机是第一款使用锂离子电池作为备用与辅助动力的商用飞机。2013年1月，B787飞机连续发生多起锂电池起火故障,世界舆论为之哗然，FAA随即宣布暂时停飞所有B787飞机。

“事实上，我们早在对B787客机进行型号合格认可审定的期间就提出质疑，波音公司没有制定专用条件来保证使用安全。”揭裕文说。

2013年1月7日，一架日本航空公司的波音B787飞机在波士顿娄根机场的停机坪上，机身后部的辅助动力电池发生过热导致起火，机场消防队花了一个多小时才扑灭火焰。在事后的检查中发现，不但辅助动力电池和壳体严重损坏，泄漏的熔融电解质和炽热气体使得半米以外的机体结构也受到损坏。

美国国家交通安全调查局对事故进行调查后发现，局部钢结构有汽化后冷凝的迹象，这说明局部温度有可能高达3000度。9天后，另一架全日空航空公司的波音B787飞机从山口飞往东京成田机场，即将达到巡航高度时，飞行员在驾驶舱内闻到刺鼻的烟味，仪表板上警告灯也显示电池故障。飞机立刻在高松机场紧急降落，所幸机上129名乘客和8名机组人员通过紧急出口和充气滑梯安全逃生成功。事后检查发现，前机身驾驶舱下电子舱里的主电池过热烧毁，壳体严重损坏。

日航和全日空立刻宣布所有波音B787飞机停飞，FAA也随即宣布所有美国注册的波音B787飞机停飞，这是1979年后FAA首次下令特定的民航客机停飞。在日本和美国相继停飞后，世界其他国家也迅速跟进，至此，全球波音B787飞机全部停飞。

波音B787飞机是第一款高度电气化的客机，用电动系统完成很多传统上由液压系统完成的动作。张海涛介绍说：“为了以最小的空间和重量实现最

大的蓄电量和放电电流，波音公司选用了先进的锂电池，这可以节约30%的重量，但是新技术有新问题，锂电池容易起火……”

由于缺乏适当的技术标准和认证依据，FAA在认证波音B787飞机的锂离子电池时遇到很大的难题，最后制定了9条特别规定，最主要的是电池过热不得超过每1000万飞行小时1次，其他规定还包括在任何情况下不得有有毒烟雾进入机舱、不得发生电解液泄漏和不得损坏邻近机体结构等条款。

“在我们看来，FAA并不是出于对美国工业界的保护，而是面对不断涌现的新技术，FAA的适航审定能力也面临着挑战。事实上，也是我们适航领域共同的难题。”沈晓明介绍说，“在对B787客机驾驶舱进行适航评估时，我们的试飞团队还发现部分驾驶舱设计与适航要求存在偏离，存在疏漏。”

最初，FAA并不相信CAAC对B787驾驶舱提出的评估报告。但是，面对审定中心试飞团队对相应审定条款的详细说明后，FAA不得不承认B787客机存在设计缺陷，CAAC的判断是正确的，并要求波音公司立即加以优化调整。

2013年1月9日，局方试飞团队登上B787客机，首次对世界最先进大型客机进行型号合格认可审定试飞。自此之后，CAAC在国际适航审定机构中的地位得以提高，世界开始倾听中国人对于商用飞机适航技术发展的见解与声音。

在整个ARJ21-700飞机审定试飞过程中，局方试飞团队还为ARJ21-700的设计优化提出了近千条建议，有效地消除了潜在安全隐患，为ARJ21-700飞机的设计优化以及适航取证工作做出了重要贡献。

经过缜密的分析，局方试飞团队还对现有ARJ21-700的试飞科目进行了合理的结合，仅失速试飞就为国家节省研制经费上千万元，累计缩短约10%的审定试飞架次和时间，加速了ARJ21-700飞机投入市场的进程。

“未来，局方试飞团队还将承担C919大型客机和蛟龙600水陆两栖飞机的审定试飞任务。”揭裕文说，“我们是公众利益的代表，我们是中国民机产业的守护者，我们是国际适航安全的贡献者，对于我们CAAC的试飞员和试飞工程师来说，驾驶舱里的最高职责就是确认10^{-9} ，它是一切赖以发展的基石。”

为中国商用飞机驾驶舱注入中国智慧

“如果要说波音飞机和空客飞机有什么区别的话，主要是两者在飞行操纵理念上的不同。”上海飞机设计研究院李宝峰在新成立的驾驶舱集成和工

业设计研究部的创意工坊里调试着C919大型客机的驾驶舱模拟系统，“空客公司的驾驶舱强调的是电脑控制飞机，也就是说，在通常情况下，飞行员的操纵要受到电脑的限制，通过电脑来实现飞行员对飞行的控制。而波音公司则强调人对飞机的控制，在有必要时飞行员能够随时脱离电脑（自动驾驶）的控制，直接独立操纵飞机。”

可以说，空客公司更注重计算机对飞机的操作，而波音公司则更相信人在紧急情境下对飞机的处置。例如在油门的设计上，空客飞机的油门在自动油门模式下是完全由电脑控制的，而波音飞机则延续了老一代飞机的设计，油门杆和油门联动，飞行员在调整油门的时候，可以实时地看到油门杆在前后移动。

即便同样采用了电传操纵的机型，两家制造商的设计理念也是不同的，“波音飞机的电传操纵，人为的阻尼会使得操纵感增强，而空客则越来越轻巧，杆力会很小。”李宝峰介绍说，“但这样的设计对刚开始学习操纵空客飞机的学员来说，确实是一个挑战。”

空客不同的机型驾驶舱操作系统相对统一，具备高度的通用性，为飞行员的升级培训带来了便利，它的不同系列飞机在操纵和驾驶程序上差异很小，混合机队飞行的优势，可以顺利实现机组混飞，改装轻松，机组效能发挥更好。而波音飞机注重传统，传统的驾驶盘设计使驾驶舱简洁干净，各个系统布局一目了然，系统情况则能直接从驾驶舱中反映出来，逻辑清晰，让飞行员操纵起来更加直观，更加人性化，教员教学也更加轻松，符合正常飞行理念，同时，在遇到飞行故障时，飞行员也能直接判断处置，处置程序也更简单。

两种飞机的特点和设计理念各不相同，但是在安全上的保障却永远是放在第一位的。两家制造商，除了相互竞争之外，其实更多的是互相学习。随着新技术的不断运用，飞机越来越先进，而两家制造商在飞机设计理念上也越来越趋于一致。

“未来，飞机依靠先进的科学技术和发展理念，自动化程度越来越高，其差异只会越来越小，而飞行员也将由操纵飞行员向监控飞行员过度，CRM（驾驶舱资源管理）等先进理念将会更加明确。”李宝峰说，“在程序上，飞行员操纵飞机时所做的动作会更少，出错的概率也就更少，‘飞机会越来越好飞’。”

在过去20多年中，全球重大民机事故发生率在稳定地下降。但是，随着民航需求和运输量绝对数的提高，只有进一步降低事故率才能将民航安全保持在现有公众和舆论可接受的水平。

目前, 人为差错是导致约70% 民机重大事故的主要原因或原因之一，从发生的主体来讲，人为差错可由飞行机组(飞行员) 、空管员、设计人员、地面维修人员等引发。从事故源来讲,人为差错可由单一或多重因素交互引发，包括驾驶舱设计、飞行员操作、空中交通管制、地面维修、飞行机组间或与空管间的交流、管理决策以及企业或国家文化等因素。

由此可见，从整个机载系统来讲，相对于发展成熟和系统可靠性很高的机载设备系统，人的因素部分可靠性的提高既是很大的挑战，也有更大的提升空间。安全事故数据表明，由驾驶舱设计引发的飞行员人为差错占有相当大的比例。针对居高不下的与人为差错相关的民机事故率，FAA和EASA增补了FAR/CS25.1302条款。该条款首次从适航角度就如何减少此类人为差错对设计提出了系统性的适航要求。

“针对居高不下的与人为差错相关的民机事故率，早在1996年FAA就牵头启动了一项颇具影响力的民机驾驶舱人机界面的人机工效学研究。”陈勇介绍说，“该研究发现，由于没有充分考虑飞行员的能力(生理、体力、心理/信息加工等)和设计对飞行员操作绩效的影响，导致机载人机界面设计过分复杂和缺乏足够的人机工效，从而可能导致人为差错的产生。主要是因为设计过程缺乏对有效的人为差错管理设计的支持，对贯彻‘以人为中心的设计理念缺乏具体有效的方法、工具和标准，设计过程和决策缺少足够的人机工效学考虑或专业人员的参与，以及设计员和试飞员缺乏足够的人机工效学知识和技能等。’”

虽然民机驾驶舱自动化提高了飞行操作的准确性和可靠性，但它的发展从一开始就是以技术为导向，而并非遵循以飞行员为中心的人机工效学理念。由此带来自动驾驶系统的人机界面设计了过分复杂的自动化模式和控制方式，带来产生人为差错的隐患。

“航空业的新发展如果没有有效设计的支持也有可能带来产生人为差错的新隐患，为满足空中交通运输量和密度增加的要求，新一代空管系统必然将部分空管自主权下放给飞行机组。”李宝峰介绍说，“一方面，飞行员需要更多的驾驶舱自动化来协助完成新增的作业；另一方面，新增的工作量有可能增加了飞行员的认知工作负荷，可能引进产生人为差错的新隐患。另外，全球航空业的快速发展给飞行操作环境引进了更加多元化的文化元素，这也可能带来产生人为差错的新隐患。”

国际适航当局就如何从适航来应对由设计引发的飞行员人为差错的问题一直在进行着不懈的努力。受FAA人机工效学研究小组报告的影响, FAA(1999) 启动了一个人为因素协调工作组，他们通过研究发现，现有各种适航条款和咨询通报存在约250项与人机界面设计和人为因素有关的问题。其中，35项重要问题主要集中在现有适航条款和咨询通告没有就驾驶

舱设计如何充分地考虑飞行员能力、如何有效地支持飞行员作业绩效和人为差错管理提出全面系统的适航要求以及指导。

FAA在向航空业界广泛征求意义后，于2013年5月正式发布了FAR 25.1302条款，不同于以往的“以系统设备和功能为导向”的各种条款，25.1302将整个驾驶舱中与飞行员飞行任务相关的设备和功能视为一个整合交互的人机系统，以飞行员任务为导向，以能否支持飞行员有效和安全地完成规定的飞行任务为目标，规定了这些设备和功能的设计必须与飞行员的能力相匹配，并能有效地支持飞行员作业绩效和人为差错管理，从而最大限度地减少由设计引发的飞行员人为差错作为一项新的适航条款，即使国际适航当局也缺乏对实际取证工作指导的丰富经验。

“FAA在25.1302条款的发布公告中也明确表示要与航空界共同累积经验和细化所建议的符合性方法，考虑到人为因素取证工作的特点，申请人和局方对条款要求的理解、符合性方法的选择等都需要一定的实践和经验的积累。”陈勇介绍说，“新的条款给世界飞机制造商如何为自己的驾驶舱注入指挥带来了新的挑战和新的竞争方向。”

驾驶舱是飞行员操纵飞机、执行飞行任务的场所，人机界面的良好交互性要比系统功能设计更重要。不管什么类型的飞机，如何先进的系统及技术应用，系统终端对飞行员而言，就是一个操作显示的界面。如何把操作显示的界面设计得清晰、简洁，使一致性较好，能够较大幅度地减少飞行员操作的工作量，是驾驶舱综合设计要考虑的重要问题。

目前，商用航空主要飞机制造商驾驶舱设计均采用“静暗”座舱设计理念。“静暗”座舱虽无标准定义，但原则上可以理解为：飞机处于正常飞行状态，则无相关“声”“光”“振”等告警反馈。

该理念最早是由空客公司提出，后被其他航空制造商理解并使用，但对这个理念执行工程实现时，各主制造商的理解又有所差别。尤其以空客公司和波音公司的理念为代表。空客公司的“静暗”理念是建立在系统高度集成的基础上，人机操纵的自动化应用程度较高，采用不指示则不操作的理念进行系统设计，即各系统在正常工作的情况下，人机操纵界面不提示、不显示工作状态，一旦有任何提示音，均代表飞机没有处于正常状态或者系统已经出现故障。

“‘静暗’驾驶舱控制板一致性设计就是从人为因素应用入手，基于‘静暗’驾驶舱设计理念，结合人机工程学、视觉工效学，提出逻辑一致性、操作一致性、显示一致性、指示状态定义一致性的设计原则。”陈勇说。

一致性设计是站在飞机操作运营的角度，来考虑人机交互的安全性、舒适

性和高效性。一致性设计是使众多器件以整齐划一的方式操作，使复杂交错的逻辑简单化，使众多系统服从统一的理念，从而达到人机操纵界面简单化、清晰化，不易误操作。在设计前期就以一致性贯穿始终，使整个驾驶舱呈现给飞行员的是一个统一的整体，则能较大地降低飞行员认知驾驶舱的难度，也简化了操作步骤。在工程上将能极大地控制后期设计的更改，从而节约大量的研制成本，缩短研制周期，对于客户来说，则是带来便捷的操作和安全的运行。

在中国商飞公司飞行员教员帕克看来，让ARJ21-700飞机驾驶舱从简单的集成最终成为艺术品离不开飞行员的参与，他希望能有更多富有经验的人才加入到ARJ21项目中，不断地为中国商飞的驾驶舱注入新的智慧，完善国产民机型号的客户培训工作，通过优质的客户服务提升中国商飞的品牌价值。“现在，全世界都知道波音和空客来自哪里，有一天，世界也会知道COMAC来自中国！”帕克说。

驾驶舱里最“挑剔”的乘客

2012年3月13日，ARJ21-700飞机总设计师陈勇交给了我一个特殊的任务，做一名最挑剔的乘客，跟随104架机转场乌鲁木齐进行自然结冰试飞，事实上，这并不是我的第一次登机试飞。

我参与的第一次试飞是性能操稳专业的一个试飞科目，在登机之前，我先接受了试飞院的登机培训，然后再经过一系列的批准手续，直到深夜我才接到了第二天登机试飞的通知。

那天担任机长的是赵鹏，安全机长是赵志强，他们承担了ARJ21-700飞机最多的风险科目的试飞。登机前，很多人问我对飞行是否担心，说实话，我当时并不知道进行的是性能操稳的科目，我以为只是一种体验飞行，但是当我看见当天试飞计划的时候，舱门已经关闭了，我看着为我们送行的机务，只能硬着头皮坚持下来。

虽然乘坐过很多飞机，甚至在采访的时候还乘坐过武装直升机，但是第一次登上自己跟踪采访了五年的ARJ21-700飞机，内心还是很兴奋。101架机上装有先进的水配重系统，能够便捷地调整飞机的重心，飞机的壁板上铺设着大量的线路，只有前面几排安装有座椅，其余都是试飞工程师的监控席位。

很快，我们就到达了指定的试飞空域，当时101架机还没有安装防劫机门，我获得批准可以坐在观察员座椅上，观看试飞员的试飞。赵鹏和赵志强一项一项地按照试飞大纲完成动作，有些动作，他们甚至是用指尖轻抵住方向盘来控制操纵的力量。

当他们在进行阶跃动作的时候，我恰巧站在飞机的后舱，我只感觉飞机在猛地低头，然后又瞬间抬头，就像是在云中冲浪一样。试飞工程师已经坐在座椅上给自己系好了安全带，我试图走到前舱，此时飞机正好是上仰的姿态，我感觉自己像在爬山。当时的101架机的行李架上还没有安装防滑槽，浑圆的行李架没有一点能扶着的地方。紧接着飞机又是一个俯冲，我感觉自己瞬间就冲向了驾驶舱，幸运的是我抓住了盥洗室的门把手，我推开盥洗室的门，感觉自己马上要吐出来……

直到飞机落地，我再也没有走出盥洗室，那是我第一次对试飞员和试飞工程师在空中的试飞工作有了特殊的理解。我和机组返回467参加航后的讲评，赵鹏和赵志强还在和试飞工程师讨论试飞的细节，我仍然感觉像踩着棉花一样。

2012年3月13日，阎良的天气还有些阴冷，我们登上了转场乌鲁木齐的飞机。事实上，我在当天有个特殊的任务就是要评估一下ARJ21-700飞机的舱内噪声，试飞员一直在反映这个问题，但是当时的飞机副总设计师还不能登机亲自感受舱内噪声，所以，陈勇交给了我这个特殊的任务，做一名“挑剔”的乘客。

飞机关闭舱门后，透过舷窗，我看见机务列队向机组挥手送行，这是这些年我百看不厌的一个瞬间。每次我都会想，什么才是仪式？我觉得，某种程度上仪式应该是一种礼仪，一种向所有做出贡献的人们的一种致敬！同时通过强烈的仪式感强调这个行业的传统与敬畏！

负责此次转场飞行的机长是赵生，他按照程序，嘴里叨咕着那些只有他们飞行员才能明白的“暗语”，安全机长赵明禹则是重复着赵生的“暗语”，然后一项一项地按照程序执行动作，看似烦琐的过程却与飞行安全息息相关。

在他们用心照顾着104架机和我们的时候，我开始执行我的任务：做一名“挑剔”的乘客。事实上，这对我真的有些难，因为我知道，即使再复杂的问题，飞机设计师们最终都会把问题解决。

只要站在中国飞行试验研究院的跑道上，看到战机轰鸣着冲向蓝天的时候，你就会知道，航空人已经完成了太多不可能完成的任务。没有人会怀疑，他们能够做到连他们自己都不认为能够做到的事情！实际上，这种精神并不神秘，但是绝对令世人崇敬。它是积淀、融化在信仰中的特殊的社会内容和社会感情。这群人有彷徨有迷茫，有曲折有纷争，但从来没有停下前进的脚步；这群人身沐先贤智慧，熔融自强精神，铸就了我们改变国家命运的共同意志。一位认为“中国会给波音带来威胁和竞争”的波音前首席执行官就曾表示，他不认为中国克服不了技术上的障碍，而且一些世界

上最好的空气动力学家就是中国人。

靠着舷窗，看着ARJ21-700飞机冲入云霄，我庆幸自己生于飞机的时代。近一个世纪以来，人类的飞翔之梦从遥不可及到日臻完美，在拥有飞机的时代，我们再次成为探险家；在拥有飞机的时代，片刻间，地球上的生命便彻底改变。现在，我再次坐在驾驶舱里，我要重新了解这群伟大的人，这架创造了无数奇迹的ARJ21-700飞机。

第八章
一个国家的试飞



2014年4月8日，温莎当地时间18时28分，ARJ21-700飞机安全降落在温莎机场，为ARJ21-700飞机历时四年的自然结冰试飞画上了圆满的句号。在此之前，中国在商用飞机结/防冰领域的研究从来没有走得如此深远。合影中很多人的手势代表着试验中飞机的结冰厚度达到了三英寸

2014年4月28日，ARJ21-700飞机104架机降落在阎良机场，完成了远赴北美五大湖区的万里“追云”之旅。这是它的第一次环球飞行，目的是完成获得适航证前最关键的一项试飞科目——自然结冰试飞，以验证ARJ21-700飞机在自然结冰条件下仍具备安全飞行与运营的能力。

同样的试飞，巴西航空工业公司ERJ190飞机仅用了7天时间，美国波音777飞机也只用了17个月的时间，而ARJ21-700飞机已经用了四年的时间……

几乎所有的飞机制造商都将自然结冰试飞看作是一项“艰难的试验”，因为，试验本身对气象条件有着极为严格甚至苛刻的规定与限制，很大程度

上，试验的完成更依赖于大自然的眷顾！

然而，任何一部适航法规都不可能忽视结冰对飞行安全带来的影响，FAA最新的数据显示，每年大约有8起因结冰导致的飞行事故。我国最严重的一次事故发生在2006年6月3日，中国空军一架军用运输机在空中多次穿越结冰区域时导致飞机失控坠毁，机上40人全部遇难，仅试飞院的科研测试人员就有9人。

天空蓬松的云朵里蕴含着惊人的水资源，它们就像是一个个在空中飞翔的“湖泊”，那些在零度以下因为缺少凝结核（例如灰尘颗粒）而未被冻结的液态水滴，一旦接触到航空器表面就会迅速冻结而发生结冰，直接危及运输类飞机的飞行安全。

按照中国民航规章CAAC25部和美国联邦航空条例FAR25部的规定，商用飞机在进入商业运营前必须进行自然结冰试验，以验证飞机在自然结冰条件下的安全性，而适航条款要求的气象条件也极为苛刻，必须满足：连续最大结冰试验时液态水含量在每立方米0～0.8克，水滴直径在15～40微米；间断最大结冰试验时液态水含量在每立方米0～3.0克，水滴直径在15～50微米，尤其是后者更属于极其罕见的极端气象条件。

“这意味着我们必须找到一个飞翔着的‘空中湖泊’才能完成试验，这是FAA针对北美地区结冰气象云层统计后得到的数据，从而制定的条款内容，而我们在乌鲁木齐苦寻了四年，几乎没有捕捉到这样的气象条件，ARJ21-700飞机不得不选择到自然结冰条款判据的诞生地进行自然结冰试飞。”赵越让说：“虽然试验的结果将直接影响ARJ21-700飞机进入市场的时间表，但我们不想为此申请临时豁免，因为，这是个与公共航空安全紧密相关的试验。”

“做出这个决策并不轻松，在此之前，ARJ21-700飞机从来没有飞过这么远的距离，从哈尔滨到底特律河畔的温莎城，14000公里的飞行途中飞机要经历大风、低温、暴风雪以及越洋飞行等诸多情况的考验。”中国商飞副总经理罗荣怀非常清楚这一路的风险所在，“虽然有些晚，但ARJ21-700飞机必将飞向世界，这是我们必须接受的挑战。”

在乌鲁木齐寻找飞翔的“空中湖泊”

自然结冰试飞是一项直接关乎运营安全与经济性的试验，必须在真实的自然环境下进行结冰验证，而不能通过其余的方式去实现。四年来，此项试验一直是拖延ARJ21项目进展的难题，但是作为项目的决策者，中国商飞公司从未考虑过向CAAC申请临时豁免。

“我们必须为航空公司的经济性考虑，必须证明ARJ21-700飞机能够在结冰的气象环境下保证安全运营，这涉及航空公司的出勤率与运营成本。”中国商飞公司董事长金壮龙说，“安全是商用飞机的生命，坚持国际标准，把安全和质量放在第一位，这是中国商飞公司永不改变的承诺。如果说我有什么愿望，我希望更多的人能了解我们是怎样做的，能信任ARJ21-700飞机，我们只想给选择航空出行的人多一种选择。”

原上海飞机设计研究院总体气动专业冯丽娟介绍说：“风险性最高的一项考核要让ARJ21-700飞机在结冰条件下飞行45分钟，在飞机表面结冰达到一定厚度，气动外形发生重要改变的情况下，验证它是否依然能表现出满足适航条款要求的操纵品质。”

“相比于三年前，我们现在唯一要做的就是‘等冰来’，虽然是折磨人的等待，但我们已经不需要再承受来自技术方面的压力。”2014年已经是赵克良第四次参加自然结冰试飞。

“这是我国首次在商用飞机领域进行自然结冰试飞，没有太多的经验可以借鉴，这使我们在四年间经历了一系列艰难的探索与选择。”陈勇说，“早在2011年，所有参试人员对如何验证自然结冰条款的符合性还是个模糊概念，是先验证防冰系统的功能，还是先验证飞机在结冰条件下的操纵稳定性，这在当时是一个广受争议的问题。”

2012年3月4日，即ARJ21-700飞机降落乌鲁木齐地窝堡机场的第二天，陈勇就召开了一个重要的会议，他希望在第一个气象条件来临的时候最先验证ARJ21-700飞机在结冰条件下的操纵稳定性。

这个决策并没有得到环控专业的支持，面对总设计师的决心，上海飞机设计研究院环控专业霍西恒仍然坚持自己的观点，“这会为防冰系统的试验带来一系列的困难，”他甚至列出大量国外试飞数据来证明自己的观点，“了解防冰系统的能力，这是自然结冰试飞至关重要的前提。”

“飞机在结冰云层中飞行，可能会遇到超冷大水滴，超出飞机的防冰能力，这种情况下，飞机会瞬间丧失正确的空速和高度指示，使试飞员做出错误判断。”霍西恒解释说，“这不仅意味着ARJ21-700飞机的防冰系统不满足设计要求，而且可能会导致机毁人亡的事故！”

遇到任何技术问题，ARJ21-700飞机申请人试飞员赵生总会将飞机设计师理论上的判断视觉化地呈现在驾驶舱里，他在脑海中快速地模拟出ARJ21-700飞机防冰系统失效后的情景：机翼被更临界的冰型覆盖，即使冰的厚度和粗糙度还不如一片粗糙的砂纸，飞机也会失去80%的升力，所有的操纵面都难以控制，一系列试图控制飞机的动作导致积聚在飞机表面

的冰层脱落，这些厚厚的冰块直接撞击在机身上，碎裂的冰块又被发动机吞入，发动机叶片损伤甚至是熄火……

“事实上，自然结冰条件下操纵稳定性的试飞是一次更加逼近危险边缘的探索！”CAAC局方试飞员赵志强解释说，“在整个试验过程中，我们需要带着冰进行大坡度盘旋、左右30度副翼阶跃机动与失速等一系列操稳动作，虽然，申请人完成了冰风洞实验，进行了大量的分析，但在实际进入结冰试飞前风险仍然是未知的！”

赵克良回忆说，“在2012年，无论是申请人还是局方的试飞员心中最大的顾虑在于，结冰后的ARJ21-700飞机由于气动特性的改变是否会变成一架完全陌生的飞机！”

作为ARJ21-700飞机的总设计师，陈勇需要综合考虑所有的信息，“2011年，我们在乌鲁木齐苦守了27天，一个结冰气象条件都没有遇到，如果只有一次机会，我必须决策先要完成哪些任务。”

霍西恒清楚地记得，那一天，就在大家对结论莫衷一是的时候，宾馆上厚厚的积雪已经在太阳的照耀下渐渐地融化，一块一块的积雪坠落在大家眼前……

中国商飞支线项目部副部长高喜军充满顾虑地说：“很多人说我们又来晚了，又错过了最好的‘结冰季’。”

气象条件始终是制约自然结冰试飞的首要问题。然而，2012年，ARJ21项目试飞性质的改变也使项目决策者备感压力。

2012年2月14日，ARJ21-700飞机获得型号检查核准书（TIA），标志着ARJ21项目正式进入局方审定试飞阶段，自然结冰试飞成为首个申请人与局方并行的I类风险试飞科目。“这不仅是对申请人的考验，更考验CAAC对自然结冰适航条款的审定能力，具体就是对CCAR25部附录C条款的理解以及判据的制定。”ARJ21型号合格审查组副组长、民航华东局适航审定处副处长钱惠德解释说。

“这是FAA的现场目击试验，他们每次都会派出观察员进行现场目击，几乎全世界的商用飞机都是在北美五大湖区进行自然结冰试飞。要知道，云中的液态水一旦遇到灰尘颗粒就会凝结成冰，所以，我想每次FAA看着乌鲁木齐的空气质量，一定也对我们选择在这里进行自然结冰试飞充满了‘好奇’。”白永宽说，“FAA会对所有试验环节予以评估，甚至包括氧气瓶在飞机上的摆放位置，如果FAA认为有问题，不排除他们会直接叫停自然结冰试飞，没有人可以忽视这种压力，无论是我们还是CAAC。”

中国商飞公司适航部肖俊介绍说："尽管当时TIA比较脆弱，大量的技术问题仍在摇摆，每个人心中也都有各自的顾虑与压力，但我们必须在气象条件来临前解决所有的问题。"

2012年3月19日，一场仅能维持三小时的气象条件在乌鲁木齐地区悄然而至。

负责提供气象服务的国家气象局气象专家汪晓斌在气象云图上标出了这片区域，当被追问云层的大概高度、液态水含量与水滴直径的时候，气象专家并不能向试飞员提供更多的信息，"要知道预测云的动向是十分困难的……"

"这就需要我们起飞后自己找云，这种不确定性会导致资源的浪费，"赵生无奈地说，"就是大海捞针，我们也要努力尝试。"

各个专业的技术人员都挤在赵生的房间进行试飞前的任务协同。

"你们算准了吗？ARJ21-700飞机的实际冰型与你计算的临界冰型会吻合吗？"赵生充满疑虑地问着赵克良。

"相信我，结冰之后的ARJ21-700飞机不会变成一架陌生而又危险的飞机！"其实，当时在赵克良心中也存在着一个疑问：在遇到危险的时刻，试飞员是会把处置险情最关键的几秒选择依靠自身的驾驶技能，还是会选择相信ARJ21-700飞机的性能？

在2013年11月进行的模拟冰型的一次试飞中，赵生用自己的行动给出了这个问题的答案。"那天的试飞科目是为了验证ARJ21-700飞机失速功能设计的准确性。"赵生介绍说，"当飞机在飞行中出现强烈的滞止性抖振（飞机进入失速时一种强烈的警告）时，我并没有立即改出失速，而是努力地控制飞机，是的，我选择了信任飞机设计师们的判断，仅仅几秒钟的坚持后，ARJ21-700飞机就依靠自身性能对飞行姿态进行了调整，恢复了飞行安全，他们的确很棒！"

"这需要很大的勇气，试飞员要对ARJ21-700飞机非常信任与了解，正是这几秒钟的坚持使模拟冰型试飞获得了关键性的进展。"赵克良感慨地说，"这也正是试飞员的价值所在，他们永远将获得试飞数据作为首要任务。"

"就像演出前的最后排练，所有工程人员都在细化试验的每一个环节，每一项处置预案。"付琳回忆说，"我们在飞机结冰设计方面的研究已经进行了八年，在ARJ21-700飞机'触冰'的那一刻，我们和'阿娇'一起将得到真正

的检验。”

2012年3月19日14时，试飞院停放在乌鲁木齐地窝堡机场的遥测车里挤满了试验监控人员与CAAC审查代表，然而，在跑道上排队等待起飞的ARJ21-700飞机却又滑了回来。

上海飞机设计研究院动力专业郑辰回忆说：“右侧发动机出现了短派遣的信号，这是个非常令人讨厌的信号，意味着发动机的某些非关键性的部件出现了故障，ARJ21-700飞机只能进行短暂的飞行。”

此时，雨点已经落下，现场的每个人都知道这意味着什么，时间也在一分一秒地流逝，钱惠德仰面迎着雨滴，甚至有些沮丧地说，“我们似乎正在失去机会……”

工程人员很快就发现“右发短派遣”只是个虚警信号，消除了虚警信号的ARJ21-700飞机快速冲入云层，遥测车中，指示云层中液态水含量与水滴直径的“小红点”很快就异常活跃地闪烁在满足附录C条款要求的方框内。

“两年来，‘小红点’第一次出现在了它应该存在的位置上，这意味着气象条件完全满足条款要求。”刘大兴奋地说，“知道吗，我甚至一直怀疑结冰探测仪出现了故障，因为，‘小红点’从来没有活跃过。”

赵生对那天的飞行记忆犹新，“ARJ21-700飞机刚刚进入900米就出现了结冰告警信号，不到10分钟，平尾和机翼前缘的结冰就达到了1.5英寸，云层中液态水含量一度接近甚至超过了标准值的三倍……”

霍西恒在飞机上密切地监控着防冰系统的工作状态，“我们遇到了异常苛刻的结冰环境，在整个过程中，ARJ21-700飞机的防护区表面都没有积冰，充分地验证了防冰系统的工作能力。”当ARJ21-700飞机降落在地窝堡机场的时候，机头上还保留着1.4公斤重的冰块，这是国内四年自然结冰试飞过程中仅有的一次“触冰”飞行！

赵生兴奋地告诉赵克良，“是的，你说的没错，今天的结果验证了你们前期冰型数据的准确性，飞机结冰后对飞机的操稳特性影响不大。”

“自然结冰是一个结合了大家心血的试飞科目，大量的理论分析和计算工作需要通过这一次‘触冰’来检验。”付琳说，“如此逼近真实的理论计算，让我们这支年轻的设计团队再一次经受住了考验！”

然而，这种喜悦的心情并没有维持多久，在对试飞数据进行分析后，航电系统就陷入一系列棘手的问题中。

ARJ21-700飞机航电专业副总设计师赵春玲说："ARJ21-700飞机的左右迎角出现了五次明显的迎角跳变，而在着陆阶段，又出现了约五分钟的风标冻结现象，这些故障使失速保护计算机丧失了正常的功能……"

"这两项故障都对试飞安全产生了影响。"赵克良解释说，"风标不能反映飞机真实的迎角，这会使试飞员对目前飞机所处的姿态产生错误的判断，直接危害飞行安全，同时也将影响自然结冰操纵稳定性科目试飞结果的有效性。"

麻烦还远不止于此，在对ARJ21-700飞机方向舵进行检查中，机务人员发现了脱黏的现象，而且逐渐进入蜂窝区。高喜军不无担心地说："比上一次飞行又增加了两毫米，虽然不影响飞行，但这的确是个隐患。"

经过仔细观察，设计人员发现迎角传感器的安装存在问题，风标的底座比蒙皮低了1～2毫米。同时，风标底座缺少加温功能，当水滴与温度适合的时候，在底座与蒙皮的阶差以及与机体之间的缝隙就会出现一些结冰现象，从而阻碍了风标传感器的正常工作。

赵克良感慨地说："对于细节的把握正是商用飞机研制的内涵所在，也是飞机制造商技术能力的综合体现。"

这一年的自然结冰试飞几乎将所有专业的副总师都牵涉进来，一时间，ARJ21-700飞机就像一个闹脾气的孩子……

"2012年对自然结冰试飞是至关重要的一年，尽管只完成了部分试验任务，但设计人员清理了所有的技术问题，正是这些有益的尝试和探索为后续自然结冰试飞积累很多宝贵的经验与教训。"罗荣怀说："更为重要的是，试飞员对ARJ21-700飞机在结冰条件下的性能有了充分的信心，这些为后续高风险任务的完成奠定了基础。"

但是项目管理层也开始对自然结冰试飞中"飞机等天"的被动局面产生了思考与追问。

我们被调侃是在"守株待兔"

一直以来，来自总参大气环境研究所和中国气象科学研究院的专家为ARJ21-700飞机的自然结冰试飞提供气象预测与监控，每天下午他们会提供24小时的气象预报，还有三天的气象趋势。所以，晚饭时间，无论是CAAC的审查代表还是试验队员见到高喜军问的第一句话都是："明天有气象条件吗？"

在四年的国内自然结冰试飞中，ARJ21-700飞机仍然碰到过几次“机会”：

2012年3月13日傍晚到次日凌晨，气象预报显示，地窝堡机场200公里范围内可能存在结冰气象。“没有人会选择在夜间进行高风险科目的试飞，我们无法观察飞机的结冰情况。”时任试飞院ARJ21-700副总设计师张建说。

2012年3月15日，地窝堡机场以北250公里出现一次轻度的结冰气象。“距离已经超出了我们遥测车功率的范围，ARJ21-700飞机只能在乌鲁木齐机场上空160～200公里的监控距离内进行试飞。”在中航工业试飞员学院副院长汤连刚看来，“国家I类风险的试飞科目如果超出了遥测车监控的范围就必须中止试验。”

2012年3月17日，地窝堡机场西北方向再次出现弱结冰气象，然而受到空域的限制，直到空军活动结束后，ARJ21-700才能起飞，此时云层的厚度已经不足100米，几乎没有了液态水含量。

每一次飞行中，大家总是期待着下一秒会有奇迹，会有希望。“小红点”细微的波动都会牵动人心，直到对讲机里传出飞机返航的信息，大家才不得不相信“这一次不会再有机会！”

诸多的限制降低了ARJ21-700飞机自然结冰的试飞效率，更多的质疑也指向了国内的气象预报能力，这种被调侃为“守株待兔”似的试飞模式也引起了对选址乌鲁木齐进行自然结冰的讨论。

“的确，在西南地区和长江中下游区域也存在可能满足要求的结冰气象条件，”试飞院副院长赵鹏说，“但是，乌鲁木齐地区是在综合了气象条件、空域地形以及机场保障等多方面因素后的选择。”

国内气象专家普遍认为，目前国内通用的模式预报结合卫星资料与形势场分析的方法，只能保证48小时内的气象预报准确率。同时，我国缺少对结冰云层内部微物理量的研究，应该尽快展开适用于民机适航条款验证的航空气象研究。

国家气象局汪晓斌形象地解释说，“要让气象条件以合适的强度出现在合适的时间与合适的地点，这除了精心的准备更需要一定的机遇。”

“最好的结冰气象条件不在中国，而是在北美五大湖区，在欧洲阿尔卑斯山区包括俄罗斯也有试验条件……”富有结冰试飞经验的美国气象专家玛格丽特（Margaret）被称为“云物理学家”，在她眼里每一朵云都如雪花一样独特，又像烟火一样变幻无常。她向飞机设计师们介绍了国外飞机制造

商在进行自然结冰试飞时所选择的地点，以及采用的“追云”模式，这本应该成为中美气象专家一次有价值的交流，然而，很多时候试飞院的气象预报员并不接受玛格丽特的判断。看着试验队一直无法捕捉到结冰的气象条件，FAA试飞工程师戴维也主动提出要与试验人员分享自己在进行自然结冰试飞上的一些经验。

ARJ21项目高层开始意识到，即使解决了所有的技术问题，在国内完成ARJ21-700飞机自然结冰试飞仍然面临着难度与局限性。

首先，是空域问题。国外的空域是开放的，对自然结冰试飞的验证机不构成限制，但是国内必须进行预先申请，只能在规定的空域内进行飞行。即使在非预定的空域内发现有结冰云层，ARJ21-700飞机也不能获准进入，这就造成了试飞资源的极大浪费。

其次，是气象预报问题。国外气象专家经验丰富，能够通过对气象模型的分析进行长期的气象预报，提供较为精准的结冰气象预测结果。例如，在试飞区域，他们可以在地面上采用放热气球等手段进行短期的气象预报；而在试飞过程中，气象专家通过卫星电话跟试飞员沟通，根据气象预报结果指导试飞员进入结冰区域，寻找适合结冰的云层。这种由气象专家指挥的“追云”试飞模式非常高效。

2013年，为了提高试飞效率，试飞院采用了三地试飞的组织模式，在阿勒泰、克拉玛依与乌鲁木齐机场分别设置了三个遥测监控点。

张建介绍说：“试飞监控范围扩展到400～500公里，试飞区域增加到20万平方公里，较前两次的试飞范围大大扩展，极大地增加了捕捉到最严酷气象条件的几率。同时，还在ARJ21-700飞机上安装了卫星电话，试飞员可以直接和地面监控人员进行联系，实时决策。”

“我专程去看了在克拉玛依机场新增设的测试点，我们有9名年轻的工程人员在那里监控气象条件，因为是临时的监测点，没有安装空调，工程人员买了几台暖风扇，一幕让我终身难忘的情景出现了……”罗荣怀说，“为了保证监控设备在低温条件下的工作状态，所有的暖风扇都对着监测没备，而不是对着工程人员，这让我心里热乎乎的。虽然我们始终被‘麻烦’缠绕，在商用飞机领域仍有未解之谜，但报国的追求与奉献精神在他们身上得到了传承，这正是我们事业的希望所在，这是一群拥有未来的人。”

然而，仅仅是试飞范围的扩展并没有真正地解决难题，某些时候，人们在思想上接受改变所需要的时间往往比解决危机所需要的时间更加漫长！

2013年11月18日，阎良试飞现场传来了好消息，模拟冰型的研发试飞顺

利结束。“整个试验过程就像过山车一样跌宕起伏，在进行防冰系统延迟打开冰型（DTO冰型）试飞时，我们遇到了很多未知的情况。”赵克良介绍说，“由于将试验条件设置得过于保守与严酷，导致ARJ21-700飞机出现了滞止性抖振与急剧滚转，一时间，飞机所有的失速特性全都表现了出来……”

“模拟冰型试验的成功验证了我们对临界冰型定义的准确性，”付琳解释说，“试验结果也得到了俄罗斯资深试飞员的认可，这一点让试验团队备感骄傲，更为重要的是，我们为自然结冰试飞扫清了最后的障碍。”

冯丽娟自信地说：“ARJ21-700飞机在结冰领域的很多探索与试验都是填补国内空白的，虽然我们缺少成熟的经验，但是，我们不缺少中国人在此领域独特的理解与智慧。ARJ21-700飞机比任何时期的中国民机都走得更加深远，这其中的艰辛只有亲历者才能真正体会！”

“是时候了！”赵越让用一贯从容的语气说，“虽然这是最无奈的选择，但这也是最成熟的时机！”

未被实现的愿望总是具有强大的力量，2014年3月19日，ARJ21-700飞机从哈尔滨飞离国境，开始了中国民机研制历史上第一次越洋“追云”的征程。

艰难十日

按照加拿大NTI公司气象专家本（Ben）提供的气象数据，温莎当地时间2013年3月20日，安大略省南部地区云层液态水含量为每立方米0.2~0.4克，水滴直径为15~20微米量级。

赵克良解释说：“这是我们苦寻了四年的结冰气象条件，完全符合CCAR25部附录C的要求，意味着在距离加拿大温莎机场200海里范围内，我们可以完成大部分自然结冰试飞科目。”

然而遗憾的是，此时ARJ21-700飞机正被肆虐在白令海峡的暴风雪阻隔在堪察加半岛，任何人都没有意识到，这场持续了七天的暴风雪会为后续试验带来意想不到的困难。

“最佳的‘结冰季’应该是在3月，进入4月我们的机会就减少到40%。”与ARJ21-700飞机一同被阻隔在勘察加半岛的ARJ21-700飞机副总设计师辛旭东内心充满了焦虑。

温莎当地时间2014年3月28日10时57分，一路与暴风雪赛跑的ARJ21-700

飞机安全降落在加拿大温莎机场。作为ARJ21-700飞机的首席试飞员，最让赵鹏自豪的时刻就是回答一路上各国空中管制员对ARJ21-700飞机的好奇，“每到一个地区，我们都引起了航空业界的关注，在世界面前展示了中国民机的品质。”

到达温莎机场的第二天，ARJ21-700飞机就首次在没有地面监控的情况下进行了“追云”试飞。试验的成功让每个人心中都燃起了希望，作为附录C条款气象判据的诞生地，北美五大湖区上空的每一朵云都像是飞翔的“空中湖泊”。

更为重要的是，加拿大气象专家对于空域、高度、温度、液态水含量以及水滴直径等参数的分析与准确预报，让“追云”试飞更有针对性，也更增加了成功的几率。

“除了世界通用手段，我们最关键的数据来自对北美地区历年结冰气象数据的积累与研究。”本解释说，“在试飞的过程中，我们还会根据最新的云图以及地面雷达数据进行实时更新，并通过卫通电话告知试飞员可能的区域和范围。”

除了ARJ21-700飞机，NTI公司已经为来自世界的80家公司提供过气象服务，其中包括著名飞机制造商空客公司与庞巴迪公司。

无论是空域的开放程度还是航空气象专业人员的能力与经验，都与国内形成了鲜明的对比，人们越来越意识到，这正是决定自然结冰试飞成败的关键所在。

然而，在随后的试飞过程中，由于某种原因，美国政府仅允许中国带有B字头的飞机在美国境内申请航线飞行而非空域飞行。赵志强遗憾地说：“航线飞行对自然结冰试飞没有任何价值，这意味着，我们所有的试验都只能在加拿大进行……”

在阳光的照射下，ARJ21-700飞机机身上的编号格外明亮：“B-1110L”，罗荣怀在接受媒体采访时说，“很多舆论认为中国商飞公司必将与美国波音公司在商用飞机领域展开激烈的竞争，而我只想说，无论是ARJ21-700飞机还是C919飞机，只是给了世界航空业多一种选择……”

来自美国的限制反而更坚定了中国商飞公司的决心，试验团队空前团结，即使只有微弱的结冰概率，试飞机组也会毫不犹豫地冲入云层。

四年的坚守与等待，人们期盼着一次彻底的成功，一次情感的宣泄，一次能力的证明，自然结冰试飞成为对中国民机研制能力与适航审定能力最大

的考验！

截至2013年4月5日，在累计20小时13分钟的“追云”飞行中，ARJ21-700飞机已完成11项试飞科目，仅剩下风险性最大的操稳试飞。当试验结果得到CAAC审查代表确认的时候，几乎所有人都不敢相信成功会来得这么简单，又是如此得突然。

赵越让说：“在这份‘简单’的背后是ARJ21-700飞机的成熟，以及我们对结冰试飞的深刻理解。”

郑辰难掩内心的兴奋，“无论是条款符合性的验证方法还是试验的判据是困扰了我们四年的难题，我们从最初的一筹莫展到今天完美收官，走过了一段异常艰辛的过程，考验了我们的系统集成能力。”

“如果发动机在结冰条件下发生空中停车，作为辅助动力装置的APU就需要扮演‘救火队员’的角色，APU需要具备在空中辅助启动停车发动机并提供应急电源的能力。”刘大自豪地说，“今天‘救火队员’的表现非常出色。”

几乎试飞了ARJ21-700飞机所有高风险与高难度试飞科目的赵志强也难掩内心的喜悦，“是的，我越来越信任这架飞机，也越来越喜欢这架飞机，它体现了中国商飞公司对适航的理解与对生命的尊重。”

在试验期间，ARJ21-700飞机还意外地遇到了一次间断最大结冰气象条件，就连经验丰富的本都不禁感叹，北美五大湖区送给ARJ21-700飞机的礼物简直丰厚极了，这也是他从业生涯中第二次遭遇这样的气候。

这是一种非常罕见的气象条件，按照CCAR25部附录C的规定，间断最大结冰条件液态水含量要达到每立方米0～3.0克，水滴直径在15～50微米，而且，这样的气象条件中往往伴有严重的紊流和冰雹，极易对飞机造生损伤。

“按照试验大纲要求，ARJ21-700飞机要在间断最大结冰气象条件飞行两分钟，以验证飞机的性能。”辛旭东难掩内心的激动，“而在当天的试验中，机组飞行了五分钟，在此期间，液态水含量最高值达到了每立方米6.2克！ARJ21-700飞机经受住了极端严酷的考验！”

然而，由于五大湖区气温的升高，赵克良却遇到了最棘手的问题：冰脱落！

按照试飞大纲的要求，ARJ21-700飞机要全程带着在满足条款要求的气象条件下结的冰实施操稳动作，但是，由于气象参数不利的组合，特别是逆温层的出现，飞机一出云，机身上的冰很容易脱落，根本无法执行45分钟

的性能操稳试飞。

一般情况下，在低层大气中，气温是随高度的增加而降低的，但有时在某些层次可能出现相反的情况，气温随高度的增加而升高，这种现象称为“逆温”。“ARJ21-700飞机在结冰后便遇到了逆温层，温度上升很快，使飞机即使结了三英寸厚的冰，飞机出云后30秒内便看到冰脱落得无影无踪。”CAAC审查代表周成刚解释说，“我们了解了更多气象条件对试验的影响，这些实践中掌握的知识对在强结冰条件下其他飞机的安全运营同样具有指导意义。”

温莎当地时间4月8日，根据气象预报显示当天的结冰概率只有25%，而冰不脱落的概率几乎为零，试验队仍然决定去碰碰运气。

“我们刚到机场，机场工作人员就抓到了一只鹰隼。我想起，在ARJ21-700飞机首次在本场开飞的时候，机场工作人员还抓到过一只白色的雪鸮。”罗荣怀说，“这让我们感觉是一种祥兆，毕竟再也没有什么技术问题要担心了，我们只是需要一点好运气。”

但是，空中的ARJ21-700飞机依然是遇到了逆温层，飞机刚一出云冰就脱落了。试飞机组的心情沮丧到极点，接近三个小时的飞行，ARJ21-700飞机的油量也已经不支持试飞员再做更多的尝试，试飞工程师停止了对气象条件的监控，等待返航。

然而，不甘心的赵志强最终决定利用最后的五分钟，降低飞行高度再去碰碰运气。就在ARJ21-700飞机180度转向之后就遭遇了一片云层，凭借着积累的结冰试飞经验，赵志强意识到，这是一片满足条款要求的结冰云层。

试飞工程师确认了气象数据的符合性，上海适航审定中心局方试飞工程师徐骏驰说：“刚开始结冰速率比较慢，最后的两分钟时间里，冰型厚度迅速增加，很快就达到了两英寸，符合了进行操稳试飞的条件。”

赵志强赶紧通过飞机上NTI公司飞行员申请在5000英尺的高度区间让ARJ21-700飞机做自由飞行，“不到一分钟，机组就获得了空管的许可，”赵志强说，“这样的决策速度在国内是难以做到的。”

“为了防止冰脱落，我们打算在结冰云层中执行操稳试飞，但是，飞机结冰的速度太快了，发动机脱冰产生的振动值也在持续升高，我们担心发动机的叶片会受到损伤。”赵生说，“为了保证安全，我们还是决定脱离结冰云层再执行操稳试飞。”

ARJ21-700飞机的确是得到了大自然的眷顾，飞机脱离云层后并没有再次遭遇温度升高的逆温层，冰牢牢地附着在飞机的非防护表面，由于受油量的制约，赵志强必须将所有试验点的操稳动作一次性准确无误地完成，没有任何可以重复的余地……

试飞工程师一旦确认了试飞结果，为了节省油量，试飞机组马上爬升高度返回温莎机场，途中不能再有任何的机动动作。

“然而，飞机上没有完全甩落的冰成为新的难题，我们加大了飞行速度，因为带冰飞行增加了飞机的阻力，同时逆风也增加了燃油的消耗。”赵志强说，“那的确是一场惊心动魄的飞行，庆幸的是设计人员在计算油量时完全考虑到了这些情况。”

温莎当地时间18时28分，ARJ21-700飞机安全降落在温莎机场，为ARJ21-700飞机历时四年的自然结冰试飞画上了圆满的句号。所有的参试人员在104架机前留下了一张在ARJ21项目研制中最为珍贵的一张合影，很多人用手势比画着飞机三英寸的结冰厚度。在此之前，中国在商用飞机结/防冰领域的研究从来没有走得如此深远。

“整个试验期间，我的团队不断地告诉我‘这支中国的工程技术队伍非常清楚自己在做什么’，他们组织试验的程序非常成熟与高效，CAAC的审查代表非常清楚应该如何把握条款。”NTI公司总裁瓦格迪·哈巴什（Wagdi G.Habashi）先生中肯地说，“来自中国、加拿大和美国的工程人员组成了这支国际试飞团队，我们不仅代表了工程人员严谨的态度与敬业精神，更表现出职业化的技术水平。因此，我们创造了用最短时间完成自然结冰试飞任务的新纪录，而且是一个难以被突破的纪录，我们双方都应该把它记载在自己的航空史册上。”

“我特别喜欢ARJ21-700飞机宽敞舒适的内部空间，这绝对是个好卖点。”NTI公司项目经理安德鲁·哈巴什先生说，“我认为‘阿娇’将成为世界支线客机中的翘楚，我也相信中国工程技术人员的水平不低于世界上任何一家商用飞机制造商。”

走在清冷而又孤寂的温莎街头，赵克良不无感慨地说，“在困境里依然选择坚持何尝不是一种自信的表现呢！”

根据数据显示，在累计105天（2011～2014年）的自然结冰试飞期间，ARJ21-700飞机结冰飞行时间仅有33小时47分钟，其余的时间都在等待。国内四年没有完成的试飞，在加拿大10天就结束了，这组数据直接反映了我国发展商用飞机产业所面临的局限与挑战。

“跨国‘追云’试飞是中国商飞公司成功利用全球资源进行民机试飞的有益尝试，”中国商飞公司总经理贺东风说，“我们形成了一套符合国际规范的管理程序，是我国民机研制历史上的一次成功创新和尝试，对创新我国民机试飞组织模式等具有积极的意义。”

虽然，利用全球资源进行商用飞机的研制已经成为不争的事实，但是，“限制飞行”的事件也再次提醒国家产业政策的决策者，任何一个航空强国都不会放弃对本国航空产业竞争力的扶持。

2014年4月28日，ARJ21-700飞机结束跨国“追云”之旅降落在阎良机场，航空人心中固守了半个世纪的祈盼从来没有像现在这样接近现实！自然结冰试飞的成功更引发了人们对于民机产业发展的思考，四年的艰难探索，三万公里的环球飞行，这些在实践中积累的经验必将提速中国民机试飞速度。

在国内仅有的一条跑道上捕捉幽灵般出没的大侧风

2013年3月27日，ARJ21-700飞机102架机再次飞抵嘉峪关机场,这是102架飞机第四次在此执行大侧风试飞任务。在业内人士看来，自然结冰试飞与大侧风试飞是ARJ21-700飞机进行的最为艰难的两个试飞科目，因为这两项试验都对气象条件有着极为严格甚至苛刻的规定与限制。很大程度上，任务的完成更依赖于天公作美！

12时32分，嘉峪关机场的风速接近23节，而且风速稳定，这正是进行大侧风试飞理想的条件。ARJ21-700飞机大侧风试验队大队长谭祥升却没有任何的兴奋：“唯一，也是至关重要的问题在于，我们需要的是垂直于跑道的大侧风，而不是平行于跑道的顺风。四年来我们一直在寻求更为严酷的试验条件，但在我们国家，能够满足这种气象条件的跑道目前只有一条——空军某机场！这也是我们所以连续四年只能选择在这里进行试验试飞的原因。”

“我们需要的是垂直于跑道，同时不起扬沙，而且风速能稳定维持在23.5~28节的大侧风。”作为总体气动专业的副总设计师，赵克良负责的科目总是与风险与艰难密不可分，“正是这些对气象条件的苛刻规定与限制成为ARJ21-700飞机大侧风试飞的难度所在。”

“今天这个风如果是吹在空军某机场，那就美得很了！”中国空军试飞团副团长刘宏亮与试飞机组成员在大风中走下飞机，与等候在机场的试验队人员互致问候。虽然人们互相鼓励与彼此祝福，但是,每个人心头都有一个挥之不去的隐忧：如果仍无法完成任务，ARJ21-700飞机的取证计划将受到怎样的影响……

“根据当地气象数据显示，每年空军某机场与嘉峪关机场在4月平均会有8场大风。”西安试验队工程中队副队长田海玲介绍说：“没有人能够知道今年会有几场大风，风又会在什么时间来，能否满足试飞条件，我们唯一能够确定的是，还有涉及动力装置、APU（辅助动力装置）及操稳三个专业，包括五个审定试飞科目需要完成。”

“相比于三年前，我们现在唯一能做的就是等风，等待大侧风，这确实是非常折磨人的等待。”今年是ARJ21-700飞机副总设计师常红第四次参加大侧风试飞：“从2010年至今，三年的大侧风试验试飞为我们累积了大量的数据，使我们清楚地掌握了ARJ21-700飞机发动机在侧风条件下的工作特性。当然，由于这是国内首次在商用飞机上进行此类试飞科目，我们没有太多的经验可以借鉴，这也使我们经历了一系列艰难的探索与选择。”

2010年5月13日，ARJ21-700飞机102架机第一次在空军某机场进行大侧风试验，所有参试人员与102架机也全部集中在此。

“那一年，我们动力装置的主要任务是进行发动机进气畸变地面试验。但是，由于第一次进行大侧风外场试验，飞机转场的时间偏晚，错过了最佳的侧风季。而且，GE公司的传感器技术人员是不被获准进入这个军事禁区，也就无法为我们的试验提供现场技术保障与支持。”戚学锋说：“发动机进气畸变试验需要测量进气道内流场畸变及发动机风扇叶片的振动情况，因此，ARJ21-700飞机的发动机进气道和发动机内加装了大量的传感器。这些传感器和相应的记录设备非常精密和先进，也是GE公司第一次在美国本土以外的国家使用，出于对核心技术的保密，每次试验数据的提取必须由GE公司从美国来的技术人员亲自操作。”

而在当时的试验过程中，GE公司从美国带过来的一个特殊数据测量设备由于设备本身的可靠性问题在试验中出现了故障，而且也并没有及时地在试验中指示出来，这就导致当年所完成的有限的地面试验的部分重要试验数据全部丢失，这在当时对试验队来说可谓一个不小的打击。与此同时，试飞院的气象车也无法达到每秒钟记录一次风速风向的测试频率，不能从根本上满足试验的要求。

“从那之后，我们就调整了大侧风试验试飞的组织模式，开创性地采用嘉峪关——空军某机场两线开展试飞的模式，飞机与试验人员全部集中在嘉峪关，飞机进入空军某机场执行试飞任务，从根本上避免了再次发生类似GE公司这样的问题。”在罗荣怀看来，虽然2010年的大侧风试验从试验结果来看是失败的，但是，正是那次有益的尝试和探索为后续大侧风试验试飞积累很多宝贵的经验和教训。

2011年3月15日，ARJ21-700飞机102架机在最佳的侧风季节飞抵嘉峪关

机场，这是试验开始最早的一次，在常红看来也是动力专业收获成果最大的一次。

2011年动力装置大侧风地面试验的主要目的是一方面通过发动机地面适航验证试验验证对发动机进气畸变相关适航条款的符合性；另一方面结合地面工程试验确定CF34-10A发动机在ARJ21-700飞机上的地面侧风运行和起飞包线/边界，从而制定ARJ21-700飞行手册中在侧风条件下的发动机相关操作程序。

那年动力装置全面完全达到了既定的试验目的，并且接受了两位FAA审查员的现场目击。“我们准确地回答了他们提出的一系列问题，有些问题是FAA故意在考察我们对适航条款的理解，以及相应验证方法的技术把握。”常红认为，这次现场目击建立了FAA审查员对申请人的了解与信任，“这是非常不容易的，最终FAA审查员对大侧风试验现场的试验组织程序，以及申请人的技术能力都给予了很高的评价。”

2011年的试验同样给戚学锋留下了深刻的印象，令他经历了一次艰难的挑战：在进行风速25节（约12.9米/秒）风向为270度的侧风（侧风垂直于飞机机身，跨过机身的遮挡后进入被试发动机）条件下发动机地面的试验时，当时发动机运转在最大推力状态，发动机的巨大的轰鸣声交织着呼呼的疾风声，让飞机上每一个参加试验的人都感到异常紧张。

“我当时在客舱的监控设备前紧盯着发动机的工作参数，当看到发动机的风扇转速和排气温度出现波动时，心里有一种不祥的预感，随后试验发动机突然发出‘砰’‘砰’的两声巨响。”戚学锋仍清晰地记得当时的试验情况：“我们第一次碰到了ARJ21-700飞机发动机出现喘振的现象，当时发动机发出喘振的声音非常巨大，可以称得上是惊心动魄的一瞬间，在场所有人的心都悬了起来，这意味着ARJ21-700飞机发动机进气畸变的适航验证要比我们预计的复杂得多，挑战也更大。”

试验随之陷入了困境，事件也受到了来自各方面的关注，“我们当时需要尽快分析出原因，尽快恢复试验，确保后续试飞的安全，并且还要制定出可行的取证思路和解决方法。”常红说。

在经过对试验数据的初步分析以及与GE公司专家的多次交流后，申请人确认发动机出现异响的原因是由于在地面静止状态下，采用尾吊安装布局的发动机距机身较近，在侧风条件下背风面的发动机的进气容易受到机身遮挡的影响，当较大的侧风或尾侧风（25节左右）在经过飞机机身后，将产生大量的紊流进入发动机导致发动机的高压压气机产生失速。

常红解释说：“这种现象主要是由于发动机采用尾吊安装布局形式导致

的，在其他采用尾吊发动机安装布局的飞机也存在类似现象。同时我们分析认为，这种现象并不会对ARJ21-700飞机动力装置的适航取证产生较大的影响。通常情况下，涡轮喷气发动机在地面静止状态下对侧风的影响比较敏感。但是，当飞机处于滑动状态时，侧风对发动机的影响将随发动机进气状况的改善而迅速减小。”

然而事情又出现了新的变化，GE公司在对试验数据进一步分析的过程中却又发现发动机风扇叶片曾出现过较大的振动异常现象，出于对发动机的保护，GE公司提出将发动机在侧风条件下地面运行限制在22节（近似于5级风）。这一限制将对ARJ21-700飞机未来的航线营运产生很大的影响，而且更为严重的是将导致ARJ21-700飞机根本不能满足FAA和CAAC适航条款的相关要求。

戚学锋带领团队与GE公司的专家一起对前期的试验数据进行了缜密的分析和讨论，“我们提出在22节到27节（近7级大风）的侧风条件下采用‘滑跑起飞’的方法，并制定了相应的起飞操作程序”。令他没有想到的是，GE公司的专家却对这个解决方案和操作程序持反对态度。“达成共识的过程是艰难的，在经过充分的理论计算分析，并通过前期试飞数据的检验之后，我们最终说服了GE公司的专家。”戚学锋说，“这不仅解决了ARJ21-700飞机后续试验的需求，更大大增加了ARJ21-700飞机的市场竞争力。”

最终这套“滑跑起飞”的方法通过了CAAC适航审定专家和飞行员的评估，作为一套有效与可执行的操作程序被写进ARJ21-700飞机的飞行手册。

但是对于操稳专业来说，2011年的大侧风试飞却给赵克良留下了些许的遗憾：“在大侧风试飞中考核的是ARJ21-700飞机的最大抗侧风能力，要具有足够的操纵性和安全性。2011年5月31日，申请人试飞员刘宏亮基于对ARJ21-700飞机性能的掌握，在漫天狂沙中抢到了一个大侧风达到21米/秒的起飞数据，那一天的惊险给每个人都留下了深刻的印象。”

常红回忆了当时的情景：当时空军某机场已经狂沙漫天，所有的飞机全都避风停止飞行，只有我们的试飞员驾驶着ARJ21-700飞机擦着沙尘暴的边缘起飞升空，那一刻所有人的心都悬着，正是试飞员精湛的试飞技术与敬业精神为申请人取得了关键的试飞数据。

“然而，非常可惜的是，当时ARJ21-700飞机并没有获得由CAAC颁发的型号检查核准书，没有正式进入局方审定试飞阶段。所以，这个数据以及其余满足条款要求的数据都不能作为局方审定试飞的数据。”赵克良遗憾地说。

但是，在付琳看来，正是通过那次试飞，申请人试飞员对ARJ21-700飞机

抗侧风的能力有了充分的信心，ARJ21-700飞机也经受了严酷的考验，这些都为后续高风险任务的试飞奠定了基础。

2012年2月14日，ARJ21-700飞机型号合格审定审查组组长吴坚签发了ARJ21-700飞机101～104四架试飞飞机的型号检查核准书；2月29日，ARJ21-700飞机的局方试飞员与试飞工程师也公开亮相，正式参与ARJ21-700飞机的试飞审定工作，这标志着ARJ21项目正式进入局方审定试飞阶段。

2012年4月23日，102架机又一次转场嘉峪关机场，这一次CAAC的制造符合性代表、各专业审查代表都亲临现场，局方试飞员赵志强、试飞工程师张海涛也将与申请人试飞员刘宏亮和董坤华共同执行102架机大侧风审定试飞任务。

“2012年大侧风试飞最大的变化在于试飞性质的改变，不再是申请人的工程试飞而是局方的审定试飞，这无论是对于大侧风试飞还是对于ARJ21项目的进展都是一个新的里程碑。”时任中国商飞支线项目部副部长高喜军说。

大侧风条件下的近进落地，即使在民航运营中也是一种较为复杂和危险的飞行动作，因为侧风会把飞机吹离跑道的中线，飞行员必须调整飞行的方向加以补偿，这个过程不仅是体力上的付出，更是综合能力的体现。“对于ARJ21-700飞机的试飞员来说，这个过程是更加逼近危险边缘的探索，既要保证飞机与自身的安全，又要获得设计人员满意的试验数据，对他们综合能力的要求就更高。”付琳说。

在2012年大侧风试飞之前，刘宏亮与赵志强从来没有共同飞行过，“陌生机组”共同执行高风险科目能否密切地配合，这一直是刘宏亮所担心的问题。但是，2012年4月27日，经过1小时23分的熟悉性飞行之后，刘宏亮与赵志强走下飞机的时候俨然已经像多年的飞行伙伴一样在分享着御风而行的感受。也许，真正飞行员之间的交流与认同就是在驾驶舱里、在每个飞行动作中建立的吧！

事实上，赵志强曾经在航线上飞过27节的大侧风情况：“大侧风条件下的近进落地对试飞员来说是种挑战。如果近进落地时仅使用偏流法，则会因为巨大的侧向扭力造成主起落架损伤甚至断裂；而仅使用侧滑法降落时，如果风速太大且试飞员把握不好的话，会因为飞机的坡度过大而容易造成飞机的翼尖擦地（或者发动机擦地），严重时会导致机毁人亡的事故，这就需合理有效地使用综合法落地以降低大侧风的不利影响。对于试飞员来说，这种方法的风险可能更高，因为需要在ARJ21-700飞机所能达到的最大抗侧风能力的气象条件下进行飞行验证。同时，适航条款里也有明确的

要求：飞机要有满意的可操纵性，不要求特殊的驾驶技巧或机敏来维持直线航迹。所以，飞机本身的性能是至关重要的，作为局方试飞员，我们的工作就是验证飞机是否具备这样的能力。”

但是，4月底的空军某机场已经结束了侧风季，ARJ21项目又一次丧失了最好的试飞时机。

“虽然我们仍然没有完成任务，但是却促进了申请人与局方能力与认识的逐步提高，这也正是工程经验的价值所在。”付琳介绍说：“2012年我们演示了直接模式，燃油平衡情况的最大侧风（10~12节）着陆特性，但是局方出于选择更为严酷的情况进行验证的考虑，认为需要补充进行燃油不对称情况下的试飞，所以，在2013年的试飞中，我们需要增加这部分风险内容。”

2013年3月27日夜晚，谭祥升、赵克良和常红一起梳理着试飞前最后的准备工作，三个人的内心同时在追问着同样的一个问题：大侧风会如约而至吗？

四年后终于获得一套22节的侧风数据

实时跟踪风力情况预报，计算风向角度已经成为谭祥升在大侧风试验期间的一种生活习惯，在这种特殊的试飞组织模式下协调飞行并不是一件容易的事情。

“每次试验前我们最关心的就是风力与风向的预报，绝对不能错过任何一个机会。空军某机场的空域更是异常繁忙，我们大部分的精力都用于协调空域与试验保障上，机场乃至空军的相关部门都给予了我们大力的协助，但是避让空域也是我们不得不面对的情况。除了空域资源紧张，还有个更大的问题，即在风速满足试验要求的同时也会伴有扬沙，而GE公司的测试设备最怕的就是扬沙，真正能留给我们进行试飞的时间窗口非常有限，这正是我们面临的现实困境！”谭祥升如是说。

4月初的第一场大风出现在清明节假期的夜晚，试验队人员晚餐时彼此问候的方式都是摇头苦笑。

谭祥升将希望寄托在4月7日。根据天气预报显示，空军某机场当天的风力将接近7级，角度为140度，这正是进行试验绝佳的气象条件。年轻的设计人员甚至开始想象着试验完成时喜悦的情景，大侧风试飞是对科研人员耐心的极大考验！

然而，“理想”的风并没有如约而至……

4月7日17：46，ARJ21-700飞机降落在嘉峪关机场，刘宏亮走下飞机后无奈地介绍着飞行情况：今天的风太让人纠结了！飞直接模式（风速要求10～12节）则风速偏大；飞正常模式（风速要求23.5～25节）风速又偏小。直到下午3点，我们才决定即使风速偏大也要抓住这次机会将直接模式的试飞任务全部完成。

赵志强解释说："飞控直接模式下ARJ21-700飞机的舵面是受到一定权限限制的，我们之所以敢在17节的风速下做出着陆的决策完全是基于对ARJ21-700飞机性能的充分把握，事实上，ARJ21-700飞机也表现出了令我们满意的操纵性能。"

"7号的飞行毕竟令我们有所收获，真正沮丧的是22号的飞行，似乎老天就是要考验我们的意志！"局方试飞工程师屈展文不无遗憾地说："在1小时23分钟的空中盘旋等待中，空军某机场的风速始终维持在6～8米/秒！17时19分我们决定返航。然而，两小时之后，一场稳定维持在14米/秒的大侧风到达了空军某机场，这场风持续了接近四个小时，足够我们完成所有的试飞任务……"

那一天谭祥升与戚学锋守在嘉峪关机场的塔台上，与空军某机场的情况截然相反，这里的风速始终维持在14米/秒，瞬间出现过19米/秒。大风几乎快把塔台的玻璃敲碎了，扬沙也从祁连山脚下滚滚袭来。

对讲机里不断的传来试飞员询问气象条件的对话：

"报一组风速！"

"6米/秒、8米/秒……"

大家总是期待着下一秒会有奇迹，会有希望，没有人理会吹进嘴里的细沙，依然仔细分辨着对讲机里的对话，风速细微的波动都会牵动人们的心弦，直到对讲机里传出飞机返航的信息，大家才不得不相信"今天不会再有机会了！"

回去的路上没有人还有心情再说些什么，有一种不可名状的憋屈萦绕在心里。一向坚强的常红也不禁感慨：难道我们还不够努力吗！接下来，唯一能做的只有等待下一个机会！此时戚学锋还担心扬沙对发动机测试设备的影响："今天的确经历了一个非常揪心的下午，嘉峪关机场风速满足试验要求，但是风的角度不是垂直于跑道的；空军某机场风的角度虽然垂直于跑道，但是风速却达不到要求。如果在这里能有一条'米'字型跑道，我们的试验就不会进行得这么艰难，耗时如此之长了。"

赵志强更是形象地解释了这种困难："风向、风速要在合适的时间出现在合适的跑道上，这除了精心的准备还要有一定的机遇。"

谭祥升则干脆决定将停放在空军某机场的一辆气象备份车调回来摆在嘉峪关机场，"总得再做些什么，万一这里就出现了一股垂直跑道的风呢！我们不能忽视任何一种可能。"

2013年的侧风季马上就要结束，试验人员的心情也跌到了谷底，空军某机场的试验人员也回到嘉峪关进行短暂的休息。

赵越让也开始让设计人员梳理还有多少未满足适航条款要求的试验点：很现实的问题摆在面前，我们需要考虑大侧风试验不能完成对ARJ21-700飞机适航取证计划的影响，也需要制定出相应的解决思路。事实上，四年来我们更多的是受到了气象条件的限制……

与此同时，作为动力专业的适航审查代表郭允龙则在思考着另外的问题：还记得2011年曾经出现过的发动机喘振现象吗？我希望申请人能够去验证在风速25节的情况下，ARJ21-700飞机滑跑起飞时侧风对发动机的影响是否能够得到缓解……

4月27日是这一年侧风季的最后一个机遇，没有人知道这一天能否实现每个人心里的期望！

早饭之后，空军某机场的试验人员就围着中国空军试飞团参谋罗万福了解风向与风速情况。

"目前风向310度，风速8米/秒"，越是在这样的时刻罗万福预报得越是谨慎，信息简洁得让人甚至无法猜测今天是否能够进行试飞。

当天的塔台指挥员，中国空军试飞团尹维波更是一早就在关注风速变化的趋势，"对于指挥员来说，分析掌握风速变化的趋势是至关重要的，这是指挥员在试飞期间把握时机，临机决策的关键所在。"

罗万福终于下达了12点进场的命令，平时最幽默的场务工程师杨政也一下子变得严肃起来；已经是身经百战的付琳则是沉稳地做着准备；负责监控的上海飞机设计研究院动力燃油部设计师何必海则是把当天需要完成的任务再次进行了明确：还剩下6个试验点，分别用不同的引气构型，还要结合开反推和不开反推的组合……

此时在嘉峪关，赵克良正在与刘宏亮和赵志强进行试飞前的技术交底，"今天碰到满足20节以上的侧风条件就可以执行任务，我们希望能拿到一套完整的20节以上的大侧风数据。"

12：57，空军某机场塔台预报风的角度与风速分别为310度、12米/秒，正好满足试验条件，然而风速却无法稳定上两秒，一直处于急速的波动中，罗万福焦急地催促着ARJ21-700飞机尽快起飞。

按照适航条款的要求，气象车摆放在飞机起飞与着陆点中间，但是气象车里显示的数据却总是比塔台的数据小了很多，最多时甚至小了4米/秒，这种差异将直接影响试验数据是否能符合条款要求。

尹维波意识到今天的指挥对他来说将是个考验，需要冷静判断、果断决策，不然将失去捕风的最佳时机。

13：06，ARJ21-700飞机从嘉峪关机场起飞。然而，到达空军某机场上空时这里的风速却减弱到了8米/秒，飞机不得不选择拉升，在空中盘旋等待捕风时机……

申请人试飞工程师朱卫东介绍说："相比于起飞的试验点，着陆的试验点更难捕捉，在飞机的近进着陆过程中，没有人知道下一秒风速的变化趋势，对于试飞员来说，选择着陆还是复飞是个需要快速决断的问题。"飞机盘旋等待的过程中，试飞员和试飞工程师还要克服空中颠簸对身体带来的影响，这对试飞员的体力也是一种消耗。

13：59，空军某机场气象台主任急匆匆地提醒：一阵大风正在吹过来。ARJ21-700飞机准备再次近进着陆，试验人员预感到这次一定能捕捉到23.5节的大侧风。

尹维波："气象员报组风的数据。"

气象员："13.5米/秒、13.8米/秒、11.6米/秒、12.6米/秒、11.8米/秒……"在报满足条款要求的风速时，气象员的声音甚至都是亢奋的。

尹维波果断命令："着陆。"

ARJ21-700飞机抵抗着大侧风的影响近进着陆，然而风速却瞬间急转直下，就在ARJ21-700飞机距离地面不到三米的时候风速已经降到了7.5米/秒，试飞员果断放弃着陆，选择复飞……

在330分钟的试飞过程中，试验人员的心情也随着风速跌宕起伏，总是在兴奋、紧张、惋惜与期待中一次次的重建信心，当然，也必将迎来收获。

"虽然ARJ21-700飞机的使用限制在28节，但是经过四年的大侧风试飞，由于我们始终没有寻求到更为严酷的气象条件，ARJ21-700飞机的抗侧风能力，我们只演示到22节……"赵克良说。

这不是一款飞机的试飞，而是一个国家的试飞

根据数据显示，在累计143天（2010~2013年）的大侧风试飞期间，侧风飞行时间仅有28小时46分钟，其余的时间都在等待！

在这四年间，大侧风试验队守候在国内唯一的一条具备侧风条件的跑道上，捕捉着幽灵般出没的大侧风，不断地寻找着更为严酷的试验条件，这种尴尬的试飞现状在某种程度上却正是我国民机试飞条件与能力的真实体现。

屈展文介绍说："在美国和俄罗斯都有很多专门用于试验试飞的机场，这些机场一般都有好几条交叉跑道，'米'字型跑道也并不少见，典型的就是美国爱德华兹空军基地，拥有有4000英尺到39000英尺长度不等的跑道21条，在此进行试验的飞机在遇到大风天气时，可以根据风向选择需要的跑道进行试验，甚至还可以协调跨国间的试飞，像波音787飞机和空客A380飞机就都是在冰岛进行的大侧风试飞，这比ARJ21-700飞机的情况要灵活很多，自然也会更节省试飞成本与时间。"

在谭祥升看来，尽管ARJ21-700飞机的大侧风试飞仍然没有迎来真正意义上的成功，但是，四年的探索与实践无论是从试验的组织管理还是条款的验证方法上都为中国民机的研制积累了丰富而宝贵的经验。

上海飞机设计研究院动力燃油部设计师华振在给同事的邮件中这样嘱咐：由于大侧风试验是高度综合的科目，一次起落的操作同时结合了操稳、动力、APU的各专业的不同要求，因此在监控和日志记录过程中，不应只着眼和侧重于自己部门和专业的要求，要尽可能地将自己在监控过程中感知到的一切关于飞机、发动机、气象、陆空对话、航迹甚至直觉估计到的有价值情报全都记载和整理下来，给外面的人员提供充分的参考和引导……

在常红看来，这四年的收获更在于人才队伍的锻炼与成长，"相对于四年前，这些年轻设计师的工程经验更为丰富，思考问题也更细致。"

正如赵克良所说，"细"正是民机研制的内涵所在，也是技术能力的综合体现。

同时承担C919飞机研制任务的戚学锋则更希望ARJ21-700飞机的经验教训能够更好地被C919飞机所借鉴，尽早进行相关试验的规划与试飞环境的选择，"对于C919这种大型客机，通常要验证到35节甚至更大的侧风，要远远高于ARJ21-700飞机侧风验证目标的要求，需要寻求更为严酷的试验试飞环境，而空军某机场通常在25节以上侧风就会导致沙尘暴，基本已经无法满足C919飞机的试验要求。"

2013年4月28日，ARJ21-700飞机102架机转场阎良，结束了历时四年的大侧风试飞。然而，留给人们的思考却不会就此结束。因为保密的原因，试验队无法留下在空军某机场塔台进行指挥与在气象车进行监控人员的工作影像！

“最小飞行机组试飞第一架次2：21起飞；2：48降落”；

“最小飞行机组试飞第二架次3：50要起飞；3：32降落”；

……

2014年9月25日凌晨2点，ARJ21-700飞机最小飞行机组试飞参试人员的微信群里就不时地传来试飞进展的信息，这项试验涉及11个机组、17名试飞员。时任ARJ21-700飞机的全球首家用户，成都航空公司总经理隋明光也带领自己的飞行团队参加了这项试飞。白永宽说：“航空公司老总驾驶一款仍在取证中的商用客机进行试飞，这在中国商用航空研制上可是破天荒的一次。”

最小飞行机组试飞的目的主要是通过多个机组的主观评价和生理参数测量，来衡量和评估在不同试验场景下，机组成员对相关器件的可达性和操作的简易性，以及最小机组（两人制）的工作量是否满足适航规章要求。

然而，从ARJ21-700飞机到达成都双流机场，到能够进行试飞，试验队等待了九天的时间。在此期间，为了能够让ARJ21-700飞机尽快地飞起来，很多协调工作甚至需要依靠地方政府的力量。

当时，为了“确保成都双流国际机场航班运行正常有序”的原则，同时遵循“航班飞行优先于校飞任务，校飞任务优先于试飞任务”的总原则，ARJ21-700飞机的试飞只能在凌晨2点至6点进行，然而，这与条款要求的“繁忙机场”似乎又有着明显的出入。

试飞空域限制、缺少试验条件、没有满足条款要求的气象条件……在ARJ21-700飞机长达六年的试验试飞过程中，几乎每一项试飞都受到这些因素的制约。谭祥升负责的试验科目大多数都是靠天吃饭的，在他看来，外界与其抱怨ARJ21-700飞机的试飞周期是世界上最长的，不如更多地关注支撑国产民机试验与试飞的环境建设，“某种程度上，这并不是一款飞机的试飞，而是一个国家的试飞！”

或许，历史可以将所有参与ARJ项目的研制人员看作是中国商用飞机产业的“盗火者”！但愿，从此这星星之火可以燎原。也正如中国民用航空局适航司司长殷时军在ARJ21-700型飞机型号合格审定委员会（TCB）最终会

议上所说，“我希望当ARJ21-700飞机获得型号合格证的时候，不是ARJ21项目的结束，而是ARJ21项目系列化的开始，我希望，这个数字会是1000架……”

第九章
开启国产客机的商业航空时代



2015年11月29日，中国商飞公司向全球首家用户成都航空交付首架国产喷气式支线客机ARJ21-700。工信部部长苗圩在中国商飞董事长金壮龙等人的陪同下“千里送‘阿娇’”，亲自向成都航空交付飞机，中国民航局局长李家祥则于2014年底率先试乘该机。在长达12年的研制过程中，总有人质疑其安全性，“让领导先飞”有利于让公众树立对国产客机的信心

2015年年底交付首架飞机！无论是对于ARJ21飞机制造商——中国商飞公司来说，还是对于它的全球首家用户——成都航空公司来说，这都是两家公司的头等大事，也绝对是值得所有人振奋与自豪的时刻：中国商飞再也不用为延期交付而承受来自市场与国家的压力，而成都航空则在这一刻完成了企业战略转型的重要一步。

然而，让ARJ21-700从上海飞向世界，这条路究竟还有多远？

我差点被他们用板车“拖出去”

2014年11月的一天，沈晓明匆匆地从上海赶往阎良，那里正在进行ARJ21-700飞机载荷试飞，这是获得适航证前最后的一项试飞。沈晓明一边收拾着简单的行李，一边告诉审查组的同事："如果两天后我回来了，就意味着ARJ21-700飞机在年底前能获得适航证；如果我没有回来，那就意味着载荷试飞遇到了问题，你们知道，那会颠覆整个ARJ21项目，我们11年的审定工作就回到了原点……"

墨菲定律说，任何事情都没有表面看起来那么简单；所有的事都会比你预计的时间长；会出错的事终将会出错，还是在最不合适的时候。"似乎墨菲定律就是专门为我们航空业总结的，早在2013年的时候，我们就在为载荷试飞担心，最终它还是绊住了我们的脚，而且还是在最不合适的时候。"赵克良沮丧地说，"所有人都在等着我们的试飞结果，我们在决定着ARJ21项目的命运……"

此时，一向拥挤的467机库副总师办公室只剩下了赵克良一个人，而摆在中国商飞公司上海总部门口的ARJ21项目关闭适航条款的红花榜上，其余副总师负责的适航条款都已经关闭，名字旁边贴满了一朵朵的小红花，只有赵克良负责的载荷试飞，还缺最后一朵小红花。

"我必须得到这最后的小红花，不然ARJ21项目总指挥就要用板车把我'拖出去'，我猜那画面一定是我的两只脚耷拉在板车边上，身上或许还盖着片破草席……"赵克良沮丧地说。

"情况的确很棘手，如果2014年年底我们还没有获得适航证，ARJ21项目就必须向CAAC申请延期。ARJ21项目是2003年1月20日提交的申请，有效期为五年，按照CAAC适航管理规定，申请到期却未获得适航证的项目就必须申请延期。"中国商飞公司质量适航部副部长卓刚说，"虽然延期的次数没有限制，但需要根据获得适航证的日期倒推五年时CAAC的现行有效规章作为新的审定基础，而CAAC已于2011年11月7日颁布了最新的CCAR25-R4标准。也就是说，除了来自市场的压力，我们还面临适航审定基础变更的风险，我们都知道，新的适航条款意味着什么……"

赵越让坐在阎良467机库项目总指挥办公室里，他和赵克良两个人吧嗒吧嗒地抽着烟，房间里烟雾缭绕，冷冷清清的，墙上"西安外场试验队"的旗帜依然鲜红，这让他们想起了很多ARJ21项目上的艰难时刻。

在这间6名ARJ21项目管理高层共用的办公室里，曾经做出过许多重大的决策，有些决策甚至改写了中国商用飞机产业的命运，颠覆了人们对这个行业的理解与认知。这里曾经争吵的面红耳赤，这里也曾相拥泪流满面；这里曾经互相指责，这里也曾鼎力相助；在"试飞深水区"的时候，这里曾经搭建起各种小齿轮，让所有参与ARJ21项目的各个独立研制单位都能更

好地咬合衔接，将ARJ21项目带出“深水区”……而此时，这里再次成为中国民机产业关注的焦点。

“兄弟，我们对于载荷的计算会有问题吗？这可是个经典公式，更是我们中国航空业的强项……”赵越让似乎是在问赵克良，但更像是在追问自己，“我们现在面临的风险是，如果我们之前使用的载荷是错误的话，就会颠覆ARJ21项目所有的静力试验结果，这意味着11年适航审定的心血就白费了……”

飞行安全是航空公司、乘客和飞机设计师们永恒的追求目标，飞机机体结构的安全则是飞行安全的基础，其设计要求是保证飞机全寿命周期内的结构完整性。飞机的载荷，它们不仅是结构强度和刚度分析的设计环境，更是疲劳、耐久性和损伤容限分析所需要的载荷／环境谱的基础。

“载荷试飞就是要在预期的设计飞行环境下，测量出ARJ21-700飞机各部件上作用的载荷，以验证飞行载荷计算的方法和原始数据是否准确。”赵克良说，“全机地面静力试验和疲劳试验是验证给定载荷情况下的结构完整性，而载荷试飞则验证给定的载荷是否准确或足够保守。也就是说，如果载荷试飞结果对设计载荷有修正，那么将对静力试验和疲劳试验产生重大不利的影响。”

一架飞机，从滑跑、起飞、爬升、巡航直至下滑、着陆，无时无刻不在承受着载荷，这些载荷主要分为两大类，一类为空气动力载荷，另一类则为惯性力载荷。决定载荷大小及分布的主要因素分两个方面：一为大气环境，二为飞机自身特性。例如空气的温度、密度、压力、离散突风或者连续湍流等就属于大气环境，而飞机的自身特性则是指飞机的构型、重量、重心、惯量、重量分布、速度、加速度以及飞行姿态，而这其中的许多方面又取决于飞行员的操作动作。

赵克良介绍说，“在这众多的决定条件中，有些是随机变化的，飞行载荷专家必须从这些繁杂的组合中，找出各个部件最大受载发生在哪种情况，计算载荷的大小以及分布的情况，以此作为飞机结构强度的设计依据。”

事实上，要使载荷分布完全符合飞机在空中飞行的真实情况是十分困难的，因此，CCAR25部允许采用偏保守的近似方法来确定载荷分布，同时也规定了“除非表明确定受载情况的方法可靠，否则，用以确定载荷大小和分布的方法必须用飞行载荷测量来证实”。

“这就意味着ARJ21-700飞机必须进行载荷试飞，在真实的飞行中对载荷进行测量。”谢灿军介绍说，“因为，ARJ21-700飞机是新研制的飞机，它没有可借鉴的成熟方法，因此，它必须进行飞行载荷的实际测量。”

“没错，你知道我会说，这是国内首次按照CCAR25适航标准，并在FAA‘影子审查’代表现场目击下进行的试验。”赵克良说，“我想你也知道，我们的困难来自地面载荷的标定、载荷试飞方法、载荷试飞数据的采集与分析处理等等，不可避免地还有与CAAC审查代表对于条款判据以及试飞大纲的讨论与达成共识……唯一不同的是，这项试飞处在了一个关键的节点上。”

“是的，早在2013年年初的时候，就有人提醒我，应该尽早安排载荷试飞，但是我当时并没有进行决策……”赵越让不想在这个时候让工程人员承受压力。事实上，在当时，承担载荷试飞任务的102架机同时也承担了大量气象条件窗口期的试飞，例如高温和高湿试飞。“如果进行载荷试飞，102架机需要停下来五个月进行准备工作，那样我们会错过依赖气象条件的试验。”赵越让说，“而最关键的是，当时的静力试验已经全部结束了，如果使用的载荷有问题，也已经是无法避免的事情了……”

“国外一般在首飞之后就会开展载荷试飞，他们会结合很多的试飞科目，既经济又广泛地进行载荷试飞。总之，一定是在静力试验开展前就完成载荷试飞，不会给项目留下隐患。”沈晓明介绍说，“可我们沿袭了军用飞机载荷试飞的做法，不仅是单独进行，而且将它留到了项目的最后，ARJ21项目能否获得适航证都在等着这项试飞的结果，这的确让工程人员和CAAC的审查代表承受了巨大的压力……”

夜晚的467机库会议室依然灯火通明，工程人员遇到了巨大的困难，“同样一个位置的两个信号反映出的数据却是截然不同的，这些‘怪异’的信号似乎在说在同一时间内，ARJ21-700飞机既在上升又在下降，而实质上，ARJ21-700飞机正处于平飞状态……”李玲介绍说，“我们的飞机可不是‘薛定谔的猫’，我们必须要让测试信号真实地反映飞机的状态，我们要对所有的‘怪异’信号进行分析，看它是否受到了干扰，我们还要对出现了时间轴错位的数据进行筛选……总之，这些计算的工作量是巨大的。”

“每1秒要测试32个数据，1个飞行架次下来就要测2亿个数据，而整个载荷试飞，工程人员测试分析的数据量接近60亿，而我们的载荷试飞团队只有30人。”赵克良说，“最关键的是，所有人都在看着我们，都在等着试飞结果，在这样的情况下，再自信的工程人员似乎也会失去自信，我们有时甚至很难对试飞数据给出结论……”

这个时候，强度专业出身的赵越让会亲自在黑板上进行运算，寻找着数据之间的逻辑关系，然后给疲惫的工程人员指出方向。每当解决了一个问题，他都会得意地看着赵克良说，“克良，我要去研究研究你的‘玄学’，省得你总是‘蒙’我。”

而沈晓明的迟迟未归，也让所有等待的人心里弥漫着一层隐忧：ARJ21-700飞机会获得适航证吗？

很多人说，ARJ21-700飞机是年轻人用火红的青春铸造的，而罗荣怀则认为这是一群“悲观的理想主义者”，他们曾经被困难消磨意志，每天行走在未知的领域，要用极大的忍耐力面对质疑，但他们从来不曾放弃对梦想的追逐、对国家的承诺。

“是什么在支撑着我们？”这样的问题上海飞机制造厂西安外场试验队书记王海也问过自己无数次。2014年，中国商飞公司总经理贺东风在与西安外场试验队队员座谈时，上海飞机设计研究院航电部曹涛说出了6年来支撑着这些年轻人艰难前行的力量：“‘阿娇’早取证！我们早回家！”

虽没有豪言壮语，却让无数人动容，试飞的6年间，对于西安外场试验队的核心队员们来说，他们很少有家人的陪伴，只有背起来就走的行囊，从101架机转场试飞院开始，他们就把家安在了阎良。6年间，他们错过了很多家人团聚的重要时刻，但却铸就了ARJ21-700飞机显著的变化……

2014年12月14日，在历时50天的试飞后，ARJ21-700飞机载荷试飞终于全部完成，试飞数据表明各部件的设计载荷与试飞值有良好的一致性，ARJ21-700飞机的飞行载荷设计是成功的，主要机体部件没有付出多余的重量代价。“这意味飞行载荷设计可以满足适航条款的要求，具有足够的安全余量。”赵克良说，“我们终于完成了所有的挑战，那一刻我甚至不敢相信，一切真的就这样结束了……”

在467机库的对面，正是试飞院为大型运输机运-20新建的机库。每当运-20飞机与ARJ21-700飞机分别从机库推出来，滑上9号道执行各自试飞任务的时候，总会吸引很多工程人员驻足观看。虽然严格的保密规定不允许他们拍照，但是年轻的工程人员却永远把这一幕留在了心里，并将影响他们一生。

“虽然我们经历了国产民机进入商业航空时代最艰难的阶段，但我们也正处于中国航空制造业的井喷时期。无论经历了多少艰难的时刻，中国之翼已经呈现在我们眼前……”李玲说，“这是最好的时代，因为，我们拥有最值得期待的未来。”

很多时候，工程人员并不愿意站到聚光灯下，他们更愿意用自己的方式进行庆祝，可能只是简单的拥抱，只是用拳头砸一下对方的肩膀，只是挥着拳头说“嘿！我们干得不错，对吗！”……“正是这种耐得住寂寞的品德，才最终成就了他们创造了意想不到的伟业。”罗荣怀说。

在赵克良获得了最后一朵小红花后，金壮龙向ARJ21项目的全体干部职工表示了崇高的敬意，他对8位ARJ21-700飞机副总设计师表示了由衷的感谢，“通过ARJ21项目的探索与实践，我们掌握了运输类飞机的新技术、新材料、新工艺和国际标准，我们正在向对标国际的项目管理新模式迈进，为后续型号研制工作积累了宝贵经验。”

实际上，全球制造业之争早已演化为一种精神和文化的竞争。企业之间的竞争也已经演化为一种国家品牌的竞争。民族制造业成败与否，就看企业能不能用民族的精神，用国家战略，用企业的创新力量去重振雄风。

在ARJ21项目中流传着这样一组数据，虽然很多试验试飞科目都是以差距的形式体现，但是最终颠覆的则是理念。

发动机进气道溅水试验：波音公司用4个小时完成试验、ARJ21-700飞机用了9天的时间；自然结冰试飞：巴西航空工业公司ERJ190飞机仅用7天的时间，波音777飞机用了17个月的时间，ARJ21-700飞机用了4年时间；进入TIA（型号核准书）的时间：波音787飞机用4个月获得TIA（2009年12月至2010年4月）、ARJ21-700飞机用了4年获得TIA……

上海适航审定中心C919项目审查组组长欧阳旭坡在大型客机C919飞机下线后说：“在ARJ21-700飞机的适航审定过程中，民航适航审查团队和中国商飞公司都取得了许多宝贵的适航审查经验和工程经验。很多专业、专题具备了充足的技术储备，这些都将为C919飞机的审定奠定基础。”

“所有这些经验都是我们通过挫折、通过探索而在实践中得到的。”罗荣怀说：“虽然ARJ21-700飞机是参与市场竞争的商品，但是作为中国第一架拥有自主知识产权的新型支线客机，它也必须担负起做中国商用飞机‘开路先锋’的责任。”

2014年12月26日19时，在经过了6个小时的推迟后，ARJ21-700飞机型号合格审定委员会最终会议终于在民航干部管理学院召开。21名委员会成员在会上做出了一个可以载入历史的决策：接受ARJ21-700飞机审查组可以颁发型号合格证（TC）的建议，并将请求中国民航局为拥有中国自主知识产权的首架喷气式支线客机——ARJ21-700飞机颁发型号合格证。

这意味着长达11年3个月的适航审定工作全部结束，ARJ21-700飞机符合《运输类飞机适航标准》，它也成为中国第一款具备航线运营资质的喷气式支线客机。对此，ARJ21-700飞机型号合格审定委员会成员、民航科学技术研究院适航研究所所长路遥在会上表示：我对ARJ21-700飞机的适航性充满了信心！

在AE-100项目结束的15年后，同样是在北京的星空下，参加过AE-100项目的郭博智不无感慨地说："我们这些中国民机人终于用自己的能力与坚持让属于中国人自己的商用客机翱翔在祖国的天空！"

"欢迎你，中国民机——ARJ21-700飞机！"

2014年12月30日，中国民用航空局局长李家祥乘坐ARJ21-700飞机105架机从上海飞往北京，他说："我要向世界宣告，中国研制的喷气式客机是安全可靠的，是可以信任的。"

或许，历史可以将所有参与ARJ21项目的研制人员看作是中国民机产业的"盗火者"！但愿，从此这星星之火可以燎原，也正如中国民用航空局适航司司长殷时军在ARJ21-700型飞机型号合格审定委员会最终会议上所说，"我希望这不是ARJ21项目的结束，而是系列化的开始，我希望，这个数字会是1000架……"

然而，正当工程人员纷纷高举起历时13年才获得的适航证进行合影的时候，ARJ21-700飞机FSB（飞行标准委员会）主席韦达心里却知道，即使获得了适航证，现在，ARJ21-700飞机还不能起飞！

"因为，我们现有的培训体系无法培训出首批驾驶ARJ21-700飞机的航线飞行员……"谢灿军说，"ARJ21-700飞机没有机长，这可是个非常棘手的问题！"

商业成功从赢得客户开始

2014年11月，中国民航局飞标司航空器评审处（AEG）组织的ARJ21-700飞机驾驶员型别等级测试（T5测试）暂时中止了，这为ARJ21-700飞机的交付运营再次蒙上了一层阴影。

"T5测试是ARJ21-700飞机在运营前必须完成的测试，通过这项测试确定ARJ21-700飞机的型别等级，培训首批驾驶ARJ21-700飞机的航线飞行员。"韦达说，"虽然在进行理论培训后，飞行员普遍反映的都是例如驾驶舱告警不合理、信息定义的等级不准确这类人机界面的问题，但是，体现的却是申请人在驾驶舱设计上缺少运营的理念，没有在飞机设计的过程中将工程的思维转化为商业的思维。"

获得型号合格证代表了ARJ21-700飞机的安全性。但是，安全的飞机并不代表是适合航线运营的，这里面最大的差距是如何满足运营的要求。ARJ21-700飞机设计师赵春玲介绍说，"但是在当时，我们并不能完全理解这个概念，理解飞行员的需求，在经过了长达13个月的设计优化之后，

我们强化了驾驶舱设计理念对具体设计的指导和统领，完善了先用理念指导设计、再用设计符合理念的闭环控制流程。”

成熟的飞机制造商一般都会拥有两支飞行员队伍，一支是探索航空器性能的试飞员队伍，他们要用工程的语言向飞机设计师描述航空器在空中的表现。而另外一支是作为飞机设计师与航空公司桥梁的技术飞行员队伍，他们与试飞员恰恰相反，是要将工程的语言转化为飞行员与航空公司运营的语言。

佟宇是中国商飞客服中心的首位技术飞行员：“只有当这两支飞行员团队都建立起来的时候，才意味着申请人具备了民机研制的完整体系与实践经验。”

“事实上，T5测试就像打了我们一记闷棍，给了我们很大的刺激。”随后，郭博智就在设计院里建立了驾驶舱集成和工业设计研究部，“T5测试让我们对飞行、对飞行员如何操纵飞机有了新的理解。事实上，在驾驶舱里，飞行员是通过形象思维来记忆飞机的操纵功能，他们会将飞机的功能变成操作看不见的运动轨迹和操纵曲线。波音公司的飞机设计师也是在轨迹内布局飞机的功能，而我们的驾驶舱却显得有些无序，飞行员很难通过形象化去进行驾驶舱管理。”

“我要派飞机设计师去学飞行，他们必须学会驾驶飞机，这样他们才能知道如何画出这条驾驶舱的‘曲线’。”郭博智说，“我们会设计出有中国智慧的‘COMAC驾驶舱’。”

中国商飞客服中心2楼的会议室成了ARJ21项目最后的“战场”，工程设计人员与飞行教员们在致力于解决T5测试中的每一个问题。在与参加ARJ21-700飞机T5测试的航线飞行员一起工作了13个月后，付琳对10^{-9} 有了新的认识：“工程上，10^{-9} 意味着‘极不可能事件’，而在飞行员眼中则普遍没有‘小概率事件’，飞行过程中只要发生失效，对于机组与乘客来说就等于1，是生死大事！作为飞机设计师，10^{-9} 绝不是冷冰冰的理论数据，它是科技与生命，是设计与安全的体现！”

“在所有的改变中，唯有观念的改变是最漫长而又痛苦的。”佟宇说，“但是，一旦飞机设计师们真正意识到商业成功先从赢得客户开始，他们解决问题的能力与速度同样是令人印象深刻的。”

2015年11月8日，在经过13个月的培训与测试后，中国商飞上海飞机客户服务有限公司总经理徐庆宏向参加ARJ21-700飞机T5测试的飞行员颁发了训练合格证，这意味着ARJ21-700飞机终于拥有了全球首批获得执照的航线飞行员。随后，ARJ21-700飞机FSB（飞行标准委员会）主席韦达宣

布“ARJ21，可以起飞”！

在场的所有人都有些热泪盈眶，这不仅为ARJ21-700飞机13年的研制之路画上了圆满的句号，也意味着国产民机商业航空时代的来临。

“无论是探索商用飞机完整的研制经验，建立一套适用于商用飞机的试验试飞体系，还是打造中国具有与欧美航空强国同等水平的商用飞机适航审定能力……”ARJ21-700项目总指挥罗荣怀说，“所有这一切的改变，都从ARJ21-700飞机开始。”

早在ARJ21-700飞机开始画第一条线的时候，时任原中航商飞公司总经理汤小平就提出“对市场的特殊理解，对客户的特殊关注”。这个理念也始终被看作是ARJ21项目成功的关键所在。

“ARJ21项目的难点并不是技术上的，而是对市场、对客户的理解以及与客户的密切关系。”汤小平说，“要真正做到以实现客户利益为首要目的，而不是再以满足自身技术发展为目的，这对整个航空工业界来说无异于再造魂魄。”

当时，汤小平已经是位60岁的老人，经历过中国商用飞机发展过程中的所有痛苦，“中国始终没有一个能够真正进入市场竞争的飞机项目，而最令我痛苦的是来自国内航空公司，乃至国际市场对中国飞机制造商能力的不信任。”

长久以来，这种不信任造成了中国航空公司与中国飞机制造商之间情感的割裂。在很多航空业内人士眼中，成都航空与ARJ21-700飞机的联姻更多的是出于企业重组的需求。

2009年2月，被称为美国“战斗机黑手党”的创始人，通用动力公司F-16战斗机主要设计人之一，哈里·希拉克尔去世，当时引发了人们再度谈论起“战斗机黑手党”这个由设计师、战斗机飞行员和试飞员构成的民间组织是如何影响了五角大楼的决策者们，最终催生出一代最成功战机F-16的传奇故事。

这个组织中最抢眼人物当属桀骜不驯、无欲则刚的“疯子少校”约翰·伯伊德，他用自己数十种飞机驾驶经验和独创的“能量机动”理论和“OODA”循环向人们揭示较轻型的设计（后来的F-16）比重型战斗机机动性更好、战斗力更强。

“2001年，在一个国际合作项目中，当我和一位美国同事，刚退役不久的美国空军准将汤姆聊及F-16是F-15的搭配和补充时，他斩钉截铁地说，

F-16战机是空军的最佳选择。”原哈尔滨安博威飞机工业有限公司副总经理蒋达介绍说，“汤姆将军是‘沙漠风暴’行动中美军第一个驾驶F-16进入伊拉克的飞行员，显然‘战斗机黑手党’传奇在F-16上所创造的用户价值体现到飞行员的‘心’中，信心和信念会提升战斗力。”

波音777飞机的客舱是由波音公司以及以美联航为首的全球八家航空公司的工作团队联合设计的，为了方便航空公司根据航程和满足不同市场需求迅速重新装配飞机，他们首创了将模块化的厨房、卫生间设计成可以在若干个区域随意摆放的全新理念，地板滑轨的设计也保证航空公司能够随意增加座位组合数量或是重新安装座位。

“波音777飞机被推崇为‘用户驱动的产品’，客舱设计也屡获大奖，这些营销手段的巧妙应用，大大提升了公司的品牌价值，提高了客户的忠诚度和购买欲望。”蒋达介绍说，“两个故事，军、民两个市场，仿佛都在诠释一个理念，企业与用户共创用户价值，而用户价值的累积和升华能塑造品牌价值。如此互动使品牌映射出人性的特征，为企业以至产业注入鲜活的灵魂。”

巴西作为一个发展中国家，其航空工业基础远不如欧美发达国家，甚至与我国相比也有差距。但目前，巴西航空工业公司已跻身于世界四大商用飞机制造商之列，成为世界支线喷气客机的最大生产商，占世界支线飞机市场约45%市场份额。国内研究机构将巴西航空工业的成功归结于政府全方位支持、体制改革、市场战略、人才培养、管理和技术创新等诸多方面，但真正以市场和客户为导向才是巴航工业成功的核心驱动力。

“CBA-123飞机是技术与市场严重脱离下进行的项目。受技术和工程因素驱动，工程师和技术人员并不会从市场角度来考虑飞机的制造。CBA-123飞机不仅技术复杂，而且造价昂贵，它彻底将巴西航空带入了低谷。”在很多巴西航空公司高层管理者的办公桌上，都摆放着一架CBA-123飞机模型，巴西航空副总裁路易斯·塞吉诺·奇萨（Luiz Sergio Chiessi）介绍说，“这提醒我们，永远要在技术和市场间寻求一个平衡的决定。”

厚重的历史带来的不仅仅是沉重的包袱，它在危机来临的时候，更多的还能告诉你应变之道。

1994年之后，巴西航空的发展战略从以工程和技术为中心转变到以市场为中心，50座级的ERJ-145喷气式飞机，成为这一转变之后巴西航空推向市场的第一款飞机。直到2000年，巴西航空一共制造和销售了超过350架EMB-120和300多架ERJ-145系列飞机。这个数字虽然与波音和空客两大巨头相比还有很大距离，但对于细分后的支线飞机市场，巴西航空已经可以为这个数字感到骄傲，2000年年底，巴西航空占据了全球30/60座支线

飞机49%的市场。

“巴西航空借着喷气机支线航空市场的翅膀飞翔起来，而ARJ21-700飞机要想获得商业成功，中国国产客机要想迎来商业航空时代必须先从赢得客户开始。”汤小平说。

2011年，在ARJ21-700飞机总装厂多了一位身穿工作服、表情严肃的女博士。她就是制造商眼里最严格的客户监造代表孟黎清，她的工作就是代表成都航空监造ARJ21飞机的质量。

很长的一段时间，在飞机制造商眼里，客户监造代表并不是一个受欢迎的角色。因为他们必须代表航空公司的利益，寻找飞机制造过程中的各种问题。由于ARJ21飞机有别于任何成熟机型，所以这个过程中的碰撞就显得尤为突出。

“在最初的监造过程中，我必须让中国商飞相信，我们有着共同的利益与目标，就是让ARJ21飞机安全地运营。”孟黎清说。

很多时候，对于一个质量问题的最初判断，只是源于职业技能上的某种直觉，在孟黎清看来，这种直觉正是专业技术工程师的核心能力。

2014年在对ARJ21飞机108架机进行现场巡检过程中，前货舱附近的左侧机身蒙皮上有两处超差修理区域总是让孟黎清感觉“不那么顺眼”，直觉告诉她，这里一定出了问题。但在当时并没有人相信她通过直觉做出的判断，因为这个机身部件已经在两年前由供应商交付，并在这两年间，108架机已经完成了结构总装对接工作，准备系统安装并未来交付成都航空公司。

如果这里真的存在问题，则意味着在制造流程中质量体系没有起到应有的作用。最终，在孟黎清的坚持下，总装厂的质量技术人员对这两个超差修理区域再次进行了检查，其中一处修理后的飞机蒙皮已经出现了明显的鼓动现象。“局部蒙皮鼓动会导致飞机蒙皮疲劳裂纹的产生，极端情况下会使蒙皮在空中增压时撕裂，继而导致客舱失压，是严重的质量问题。”孟黎清解释说，“而在对另一处修理区域进行退漆后发现，部分区域飞机蒙皮被打磨过但并未记录蒙皮的剩余厚度，这意味着蒙皮厚度被削弱了，损失的飞机的强度未被分析。”

事后孟黎清一直在思考，“出现这样的质量问题，一定代表着我们的质量体系中缺少某些精益求精的文化。而这种打造精品产品的文化恰恰是国产民机赖以生存与发展的核心，也是航空公司对产品信任的来源。”

很长一段时间，ARJ21-700飞机总装工厂里的很多专业技术工程人员都会将孟黎清提出的问题视作一种挑剔。甚至在他们看来，中国的航空公司普遍的优越感来源于他们的很多规章与经验都是直接从国际上继承的。这种对国外产品心理上的弱势往往会伴随着对国产产品心理上的强势，这种强势就表现为对国产商用飞机的诸多挑剔。

“这些规章在保证我国航空安全向世界水平看齐的过程中，的确起到了不可忽视的作用。但在某种程度上，也限制了我们的产业技术人员乃至行业标准制定者的创造性与自主意识。”作为航空公司的代表，孟黎清并不反对国内制造商技术人员的看法，但她也希望用ARJ21的产品质量来证明，这些国外的技术与理念并没有什么深奥与不可超越的。只要中国不丧失创造与探索的能力，而不是仅仅学习和模仿，就能掌握商用飞机制造业的奥秘。

在与中国商飞公司的协作工作中，孟黎清也深深感受到了民机制造企业的航空人对于拥有自主知识产权国产民机的迫切心愿和为之付出的努力，这也让她坚信：中国一定会研制出自己的商用客机！

但碰撞依然存在。

现代飞机的维修方式是以可靠性为中心的维护，目的是确保飞机在保障安全的情况下以较经济的维护成本运行。因此，航空公司的参与就显得尤为重要。“所以，最好的飞机使用技术手册应该是设计方、使用方与局方共同参与的结果，是安全性、可操作性和经济性的最优组合。”孟黎清说。

在对ARJ21-700飞机的手册进行评审的过程中，成都航空公司对比使用空客飞机手册的经验，提出了6000多条的建议，这意味着ARJ21的某些维修方法不易操作，甚至个别维修方式需要更改。

“事实上，用惯空客飞机维修技术手册的人会对手册建立起强烈的‘依赖’思维，因为空客手册写得非常详细，包括所使用的工具、耗材以及所采用的验收标准，所以业内人士将其称为‘傻瓜型的使用手册’，这样导致的后果就是，离开手册，维修工人就不会工作了。”这也是孟黎清一直在思考的问题，“我曾经与很多业内人士进行过探讨，大家都有一个共识，认为空客的维修技术手册确实是将我们的维修工程人员的创造能力弱化了。”

“当年，在空客公司竞争中国台湾市场的时候，因为台湾市场前瞻性地预见到，空客的这种服务理念会对台湾的维修工程人员能力带来影响，所以，进行了很长时间的抵制。”孟黎清介绍说：“但是，因为空客公司的飞机在技术先进性和技术保障服务上，的确是太具有竞争优势，最终还是叩开了台湾的市场大门。”

在这样的情况下，中国的ARJ21-700飞机要想在短时间之内改变中国的航空公司在这些方面的使用习惯，还需要漫长的探索。“很长一段时间，在谈到国产民机的时候，我们都认为飞机的竞争体现在技术先进性与经济性上。但是对于飞机制造商来说，能否赢得航空公司专业维修工程人员的欢心，还有维修技术手册的制定理念与使用习惯，这是中国商飞之前没有意识到的挑战。”孟黎清说，“而作为ARJ21飞机的全球首家用户，成都航空公司最重要的一项任务就是帮助中国商飞接受这种挑战，树立起自己的特点与模式。”

正是带着这样的执着信念，孟黎清摸索出一套科学严谨的监造流程，也更多地替制造商着想，在众多的解决方案中，她会选择制造商付出最小代价的方案。经过四年的努力，监造组提出105～109架5架飞机的监造问题清单共900余项，其中涉及飞机设计问题63项，为ARJ21-700飞机交付后制定合理的保障方案奠定了基础。

作为成都航空公司国产飞机项目部的总经理，四年来，龚江做的只有一件事：解决ARJ首次商业运营的“最后一公里”。

在与航空公司交流的过程中，龚江的身份总是引来大家的好奇。因为在国内任何一家航空公司里都没有“国产飞机项目部”，对此，龚江总是自豪地说：“因为你们不是国产民机ARJ21飞机的全球首家用户。”

享受自豪的同时必定要承担更多的责任。

“获得型号合格证代表了ARJ21飞机的安全性，但是安全的飞机并不代表是适合航线运营的，这里面最大的差距是如何满足运营的要求。”龚江介绍说：“作为首家用户，我们更多的作用是将运营的需求贯彻到飞机设计之中，形成ARJ21飞机独特的性能特点与优势，这个过程进行得越早，飞机付出的代价就越小。”

但是，这个磨合却充满了碰撞，这让龚江意识到，国产民机项目是否能够取得成功，恰恰是解决商业运营前“最后一公里”的能力。

2010年，这是龚江第一次见到将被接收的首架ARJ21-700飞机，红色的涂装还有飞机尾部喷绘的太阳鸟图案让人眼前一亮，更重要的是，这是凝聚中国人自己智慧的飞机，这让龚江觉得ARJ21飞机比他想象的更为优秀。但是，在随后对ARJ21飞机的设计细节进行了解的时候，他却感觉到了不小的压力。“很多的标准件是不一致的，很难想象，未来我们的维修工人要带着一个类似电工的工具带，里面装满各种型号的工具来进行维修！”龚江说。

意想不到的碰撞还源于ARJ21飞机的一些细节设计。很多在飞机设计师看来是体现优势的设计细节，但在航空公司看来，却隐藏了安全隐患。

在ARJ21飞机最初的设计中，行李舱的容积非常大，这被设计师看作是体现飞机舒适性的设计细节，但他们没有考虑支线客机在航线上遭遇气流产生颠簸时，行李舱高度对乘客的影响。“身材高的乘客势必会在颠簸中撞到行李舱，而且，行李架边缘也缺少安全凹槽，这让空乘人员在客舱中进行服务时缺少扶手。”龚江介绍说：“我们提出更改建议，减少行李舱的容积，加装行李架边缘的安全凹槽。”

但令龚江没有想到的是，很多类似的建议却让ARJ21飞机的很多设计师感到伤心。“因为他们在ARJ21飞机上倾注了心血，所以会感受到一种明显的挫折感，会认为我们在挑剔ARJ21飞机。”龚江说，“最初时他们并不理解，作为首家用户的意义，就是不能让ARJ21飞机在运营中出问题，哪怕仅仅是头撞到行李舱这样的事情。”

在四年的磨合中，成都航空从飞机实际运营和维护的角度，共提出设计更改建议125条，推进了ARJ21飞机设计优化工作。令龚江感到欣慰的是，ARJ21-700飞机的设计人员非常年轻，他们非常快地转变了观念，在与成都航空共同解决问题的过程中也逐渐开创了互动模式。“我们目前可能还没有驾驭整个产业链的技术能力，同时无论从用户还是系统来看，我们在发动机、航空电子设备等方面掌握的技术还很浅显。”

最多的时候，龚江每天要接待9个来自中国商飞不同部门的来访者，这些人都是为交付ARJ21飞机做准备的，也是来了解成都航空需求的。

“我们的更改建议得到了彻底的落实，这是运营国外飞机无法实现的。”龚江说。

成都航空脱胎于濒临破产的鹰联航空，公司经营环境最差的时候，每天只有两架飞机在执行飞行任务。提起那段最艰难的岁月，成都航空总经理隋明光只是说：“汶川地震的时候，我们将公司一半的运力投入救灾，虽然只有一架飞机……”四年后，成都航空的机队规模达到了16架，航线达到50多条，也成为ARJ21-700飞机的首家用户。

在很多航空业内人士眼中，成都航空与ARJ21-700飞机的联姻更多是出于企业重组的需求。但在隋明光看来，选择成为国产民机首家用户的意义在于参与民机战略上的合作，“我们肩负着为ARJ21飞机进行示范运营的独特使命，责任在于开拓国产商用飞机的市场价值，同时，引进30架ARJ21-700飞机之后，成都航空也将完成‘打造中国复合型低成本市场领跑者’与成为‘中国主流低成本航空公司之一’的战略转型。”

在国内拥有运营国产民机经验的只有奥凯航空与幸福航空，虽然机型上有差异，但是遇到的困难却有很多相似之处，首先就是发展模式的争论。

2011年11月28日，是中国商飞首次向媒体公布交付ARJ21-700飞机的日期。这一年隋明光从空军一口气招聘了32名飞行员，作为运营ARJ21-700的储备飞行员。但随后ARJ21-700飞机延迟交付，由于没有足够的飞机，成都航空的副驾驶一个月的飞行小时数不足10小时，为了稳定队伍，成都航空开始将大量的飞行员支援给其余的航空公司。“那时候国内所有的航空公司都缺飞行员，只有我们缺飞机。”隋明光说：“放弃的不仅有飞行员资源还有航线与时刻资源，这些都是航空企业市场竞争的核心资源。”

只有飞机来了，才是一个航空企业赖以生存的根本所在。2012年，成都航空股东间最大的争议就是要不要引进空客320飞机。有的股东担心，会对ARJ21-700产生冲击，但在隋明光看来，成都航空要想完成好国产商用飞机首家客户的使命，就必须将自身发展成一个健康的航空公司，并在业界形成运营国产商用飞机的影响力。“方向找对了，剩下的问题就是耐心与勇气。”隋明光说。

2014年，隋明光参与了ARJ21-700飞机最小机组试飞，航空公司老总驾驶仍在试飞取证中的客机，这在中国民航史上可能是破天荒的事。“我一点都不紧张，因为我对飞机有信心，对自己有信心。”隋明光说：“事实上，ARJ21-700飞机的表现正如我所期待的。”

众所周知，波音公司第一次获得“商业成功”的项目是波音707飞机，通过这一场生死存亡的豪赌，波音公司强迫世界提前进入了“商用喷气时代”。但是，鲜为人知的是，波音707飞机的发展正是得益于两位刚愎自用的老人具有远见的冒险行为。他们分别是，波音公司当时的掌舵者小威廉·艾伦(William Allen)和泛美航空公司的掌门人胡安·特里普（Juan Trippe）。

“艾伦是美国工业界富有远见卓识的领导者之一，艾伦在商业上树立了良好的声誉，在商业交易方面则坚持着最高的道德标准。”乔·萨特在《未了的传奇》中写道：“艾伦认为喷气式飞机将成为航空运输业未来发展的新选择，因此，他决定对一切能帮助波音公司抓住这个未来目标的项目进行投资。”而在当时，美国的飞机制造公司和航空公司对喷气式技术是否可以应用在商用飞机上普遍抱有怀疑态度，只有泛美航空公司的胡安·特里普是唯一认为喷气式飞机会获得成功的人。

《空中对决》 [5] 的作者对特里普的评价是：“他比同时代的其他人更加深刻地认识到了飞机在改变世界地理结构方面的重要作用。他相信喷气式飞机能够给旅行带来更大的方便，成为一种标准化、批量生产的廉价产品，使航空运输市场变成大众化的普遍消费。”

为了让艾伦下决心制造出更大的飞机，特里普连蒙带骗地将道格拉斯公司和普拉特—惠特尼公司都拉进了这次冒险中来。最后，艾伦与特里普大胆的冒险行为终于得到了回报。波音公司凭借着波音707飞机重新回到了商用飞机领域；而泛美航空公司更是获得了极大的经济效益，迅速成为世界最大的国际航空公司。而在随后的波音747项目中，艾伦和特里普则再次向大家证明了他们的远见卓识与非常手段。多年之后他们的成绩依然获得业界的肯定：是艾伦与特里普共同创造了波音747飞机，如果缺少他们当中任何一人都不可能获得成功。

正如当年泛美航空创造了波音747飞机不朽的传奇一样，一个好的航空公司会推动一架经典飞机的诞生与发展，成都航空也将促成ARJ21系列飞机深刻的变化。

隋明光说："虽然我们还不知道ARJ21飞机从上海飞向世界究竟还有多远，但不管怎样，我们与中国商飞都做好了起飞前的准备。"

中国商用飞机自信起航

2015年11月29日，中国商飞公司向全球首家用户成都航空交付首架国产喷气式支线客机ARJ21-700，工信部部长苗圩在中国商飞董事长金壮龙等人的陪同下亲自交付ARJ21-700飞机，彰显了他对国产商用飞机的信心和支持。

"作为普通的乘客，我感觉ARJ21-700飞机宽敞、舒适，飞行很平稳，各方面设施也比较完善，与我们经常乘坐的国外客机相比，从便利性上来说基本没什么差别。"苗圩介绍说，"作为商用航空产业的主管部门，今天也是个令国人激动的日子，因为在我们国家的正式航线上，第一次有了我们按照国际适航标准自主研制的喷气式支线客机，在CAAC严格的把关之下，我们走完了从设计到最后交付的整个过程，有些指标甚至还领先于国际同类机型，这是多年来我们在商用航空工业发展方面从来没有过的，这是一件非常了不起的事情。"

成都航空公司也给予了ARJ21-700飞机高规格的礼遇，在ARJ21-700飞机沿跑道滑向停机坪时，跑道两边的消防车向空中喷射出巨大的水柱，ARJ21-700飞机穿过由水柱形成的30余米高的拱门滑向停机位。成都航空的工作人员穿着熊猫服饰，组成别具地方特色的"迎亲队"，载歌载舞地欢迎"阿娇"的到来。

在ARJ21-700飞机降落成都后，首飞机组人员之一、成都航空公司副总经理张放说："能驾驶中国首架国产支线客机，我感到非常自豪……它在各方面都不逊于空客A320飞机。"成都航空飞行部副总经理提玮说，公司空

客A320飞行员对转换ARJ21-700飞机驾驶执照的反应比预想的“更加热烈”。

英国航空咨询企业奥丽尔咨询公司的一名部门主管说：“随着ARJ21-700飞机投入服务，中国商飞的技术支持能力将面临主要的考验。作为一名飞机制造业的新成员并不容易，不仅飞机本身要安全，制造商还要说服潜在客户，相信其有能力迅速、高效地解决任何技术问题。”

在报道ARJ21-700飞机自信起航的同时，外媒也提醒ARJ21-700飞机正在进入一个由巴西航空工业公司和加拿大庞巴迪公司主导的支线航空市场。一些国际航空业的专家称，ARJ21-700飞机走出国内市场的希望渺茫，俄罗斯的苏霍伊商用飞机公司也制造支线喷气式飞机，日本的三菱航空机公司也将凭借它的优势向ARJ21-700飞机发起挑战。

2015年11月11日上午，由日本三菱飞机公司设计生产的MRJ支线飞机在经历了五次推迟之后，在名古屋机场成功首飞。MRJ的卖点包括燃油经济性、客舱舒适性和环境友好。它采用美国普拉特—惠特尼公司生产的静洁动力PW1200G发动机，可比同类型客机省油20%。它的最大航程接近4000公里。普惠商用发动机总裁格雷格·格恩哈特(Greg Gernhardt)表示：“日本航空和普惠公司已拥有60多年卓越的合作历史，我们很高兴凭借由静洁动力发动机提供动力的MRJ飞机延续双方的合作关系。通过与三菱飞机公司的密切合作进而推动日本商用飞机运输的发展，我们对此深感自豪。我们相信，PW1200G发动机的表现将超出MRJ运营商的预期，它不仅能降低噪声、减少对环境的影响，还能通过降低油耗降低运营成本。”

三菱支线客机是70~90座级的新一代客机，该系列机型将配备普惠公司革命性的静洁动力发动机，并在设计中应用了最先进的空气动力学，以显著减少燃油消耗、降低噪声和排放。同时，该款机型还提供一流的运营效益、专为提高乘客乘机舒适性的卓越机舱设计以及宽敞的舱顶行李箱。

李家祥在一次与中国商飞公司进行交流时说：“改革开放以来，我国民航运输业蓬勃发展，已经成为全球第二大航空运输系统。目前，我国有运输类航空公司51家，运营运输类飞机2365架，令人遗憾的是，在运营的机队中，只有国产新舟60系列飞机23架，中国国产客机的市场占有率不足1%。”

2014年3月27日，空中客车公司对外宣布，中国已确认了一份以100亿美元购买70架空客飞机的订单。此前，由于欧盟计划征收碳排放税，中欧产生争议，这一订单被暂时冻结。空客公司指出，70架飞机的订单中包括43架适合中程的A320飞机和27架远程A330飞机。

2015年9月23日上午，习近平在参观波音公司时表示，中国从1972年购买首批波音飞机，到2014年年底，中国总计引进了1500多架波音飞机。2013年中国成为美国本土之外首个接受第1000架波音飞机的海外市场，51家中国航空公司中，有37家使用了波音飞机，2015年以来波音公司交付的波音737飞机中，约三分之一销往中国。

此次波音公司与三家中国公司签下的300架飞机订单中，包括250架单通道737飞机和50架宽体喷气客机，估计订单总价值380亿美元。除签下史上最大单，波音公司还首次在海外建厂，将其一部分总装线转移到中国。波音公司宣布，已与中国商飞签署关于建立波音737飞机完工中心的合作文件，双方将共同出资建立合资公司。

1972年尼克松访华，中美两国关系走向正常化。当时两国的累积贸易额只有0.1亿美元，按当年的黄金兑换价可以兑换成6吨黄金，只有个人电脑主机那么大。1979年，中美两国建交，两国贸易额达到24.5亿美元，按当年的黄金兑换价可以兑换成226吨黄金，足够打造一辆纯金的小巴车。2003年，两国贸易额突破1000亿美元大关，按当年的黄金兑换价可以兑换成9800吨黄金，相当于每年生产出一座黄金屋。如今，中美两国贸易额已达5551亿美元，两国贸易额可以兑换成12000吨黄金，相当于每年飞出一架纯金打造的波音747飞机。

2008～2014年，中国民航净增运输飞机1231架，比原计划减少187架，部分原因是审定资源的限制。而且长期以来，中国在引进国际商用飞机进行型号合格认可审定时不能进行试飞，是不能真正对飞机的性能进行评估的，这一被动局面直到局方试飞团队的成立才得以扭转。

或许，工业的魅力就在其复杂性，从引进飞机的速度上就体现了中国的民机飞向世界是何等的艰难。相信在很长一段时间，“飞机订单”仍然是拉动中美、中欧关系的重要筹码。在这种情况下，中国民机的“一”席之地是何等的艰难。除了工业基础、核心技术、管理水平、国家意志，我们更需要找到“中国民机产业”突围与崛起的模式，这种复杂性考验着国家的智慧，也考验着民机从业者的耐心。

自20世纪90年代起，中国希望通过拓展中美双边适航协定，使中国飞机进入欧美市场。

1992年，选定运-12飞机作为样本机，由中国民航按照美国FAA适航条例进行“影子审查”（根据美国的法律法规，在与中国签署中美双方民用航空双边合作协议之前，要对民航局的机构、体系、法律、规章、适航审定能力进行全面深入的评估，即所谓的“影子审查”），由美国FAA认可后，颁发FAA型号合格证，这也是中国唯一获得FAA适航证的小型通用飞机。

此后多年间，受制于中国低空开放政策的限制，中国的通用航空市场并不活跃，也始终没有启动小型通用飞机的研制。2013年12月中国宣布低空开放政策，推动通用航空产业发展。中国通过运-12飞机拓展的中美CCAR23部双边适航协定可以真正地发挥作用，使中国的通用飞机进入国际市场。然而，仅16天后，奥巴马就签署了《小型航空器复兴法案》，要求FAA采用新的认证标准，通过改变FAR23部以改变通用飞机的认证程序。一夜之间，适航审定基础的改变也令中国通过运-12飞机拓展的中美CCAR23部双边适航协定形同虚设。

《小型航空器复兴法案》改变联邦航空条例第23部对通用飞机的认证程序，降低飞机升级改造的成本，其中很关键的一句就是，在保证安全性的前提下缩短审定流程，降低审定周期与成本。这一举措必将再次推进美国通用航空产业的复苏和发展。

中国商飞各层面的人士大都认为，FAA在推动中国商用航空安全体系发展的同时，也不可回避地受到来自美国政府和公众影响。

早在ARJ21-700申请FAA适航证的早期，美国舆论就曾质疑FAA为什么要帮助美国的竞争对手审定飞机。为此，ARJ21在加拿大进行自然结冰试飞期间，FAA并没有像以往那样对选定科目进行现场目击。在C919提出申请FAA适航证的同时，FAA也一度建议放弃ARJ21-700，直接启动C919的适航审定。这个条件，中国商飞显然不能接受。

这种中美在适航领域的博弈伴随着ARJ21项目整个过程。我们必须承认，FAA在适航领域的国际权威与体系的健全程度的确为国际航空安全做出了贡献，但是，FAA在推动中国商用航空安全体系发展的同时，也不可回避地受到来自美国政府和公众的影响。

很多舆论认为中国商飞公司必将与美国波音公司在商用飞机领域展开激烈的竞争，而我只想说，无论是ARJ21-700飞机还是C919飞机，只是给了世界航空业多一种选择……

ARJ21项目的真正价值在于积累了商用飞机研制的完整经验，建立了一个完整的民机试验试飞体系，与此同时，CAAC也具有了与世界同行同等的适航审定能力，而这一切的实现都离不开这架飞机——ARJ21-700飞机。

2014年，美国著名智库兰德公司发布了一份题为《中国航空政策对其商用航空制造业的影响》的评估报告，报告中指出，美欧至少应该采取以下措施以确保在商用航空领域的竞争力：

美国政府应该与欧盟开展双边谈判，阻止空客和波音公司继续将采购中国

制造的零部件作为一项市场竞争工具；促使与中国开展业务合作的国内公司自愿报告对中国的投资政策是否受到中国产业政策的影响，并提交影响程度说明；继续在双边论坛好世界贸易组织上向中国施压，以使其放弃推动特定产业发展的产业政策；监控C919后继机的发展，并迅速通过WTO和双边会谈，回应中国政府所采取的补贴和其他支持其进入外国市场的措施。

兰德公司最后还在报告中奉劝中国政府应该仔细评估其当前支持商用航空制造业的政策，放弃对“国家队”的支持，将精力放在建立公平、友好的商业环境上，以获得更大的政府投资收益。

显然，中国在商用飞机领域的发展和展现出的竞争力已经对欧美飞机制造商构成了威胁。虽然兰德公司的研究人员不愿意承认，但是中国现行的民机产业政策无疑是有效地推动了产业的发展。

20年后，中国国内市场必将更加开放，政府对竞争性领域国有企业的补贴、政策保护都将成为过眼烟云，国产商用飞机也要和波音、空客的飞机进行公平的竞争……

在国外咨询公司的一份报告中提到：在一个传统上一直由美国和欧洲生产厂家主导的行业里能够取得成功，证明了发展中国家的公司是有能力应对变化的环境和不利条件的。事实上对中国商飞公司来说，它不仅要面对一个由西方发达国家主导的产业给基础薄弱的自己带来的不利条件，它更肩负着如何在现有经济基础上提振“中国制造”和“中国未来”的战略使命。

“伴随世界经济全球化、一体化的发展趋势，综合国力竞争、科技竞争日趋激烈，各国都把创新作为应对科技革命和全球化竞争的国家战略。实践证明，真正的核心技术、关键技术是买不了的，必须依靠自主创新，打造一批具有国际竞争力的企业，掌握一批核心技术，拥有一批自主知识产权，才能大幅度提高国家竞争力。”金壮龙介绍说，“如果说几年前，我们对中国商用飞机产业突围的路线图还仅仅是一个模糊的概念，那么，现在一切都在变得清晰。实施创新驱动发展战略，一个重要方面就是坚持以企业创新为主线，我认为企业提升创新能力的重点就是技术创新、管理创新和体制创新。”

“事实上，在商用飞机领域，后发者未必皆有优势，错过了早期商用航空的黄金发展期，对于后来者来说，更多的只有挑战。”罗荣怀说。

2016年2月28日，ARJ21-700飞机正式进行商载运营，这是新的开始、一项新的挑战。正如孟博士在演讲中提到的例子，当年，在空客公司竞争中国台湾市场的时候，因为台湾前瞻性地预见到，空客的这种服务理念会对

台湾的维修工程人员能力带来影响，所以进行了很长时间的抵制。但是，因为空客公司的飞机在技术先进性和技术保障服务上，的确是太具有竞争优势，最终还是叩开了台湾的市场大门。所以，ARJ21-700飞机要想被航空公司接受，还有很长的路。而打造精品产品的文化恰恰是国产民机赖以生存与发展的核心，也是航空公司对产品信任的来源。

“或许，留给你们印象最深的是我们遇到的挫折，但是我们有398个条款，其中大量的试验试飞我们都进行得非常顺利，即使遇到挫折的试验，我们最终也解决了这些问题。”郭博智说，“有的时候，我看着我们这些‘80后’，甚至‘90后’的年轻设计师们，他们没有一个人选择放弃，这是一群遭遇挫折的人，是一群时常被困难缠绕的人，然而同时，这又是一群拥有未来的人，这是拥有未来的一代。”

上海飞机设计研究院是飞速发展的研究院。郭博智现在做的事情就是每天去转转他的各个研究部，去看看那些创新型的工业设计坊正在弄哪些新鲜的东西。如果这些东西足够有吸引力，他会给他们足够的资金和资源让他们把产品做出来。

“每当我看见那些外籍供应商围着我们年轻设计师在卖力地解释自己产品的先进性的时候，我总是会心中窃喜，这就像是‘免费培训’我的飞机设计师，作为主制造商，我们的设计人员还时不时地丢出一个问题，外籍供应商为了让自己的产品获得项目就会列举很多其余供应商产品的问题。”郭博智得意地说，“这样的‘免费培训’已经持续了6年，而且还是英语的，这些年轻人就像海绵一样在无尽地吸收。我们的型号是饱满的，这更令我们的人才队伍很稳定，或许你几天不来，我就已经变成了另外的样子，他们自信，表达一个问题的时候不再是左顾右盼、寻求外援。”

“我们经历了一个磨难的过程，有一段时间，我们备受质疑似乎是所有问题的根源，那段时间我们备受挫折，但是现在我们充分自信，面对任何问题都能从容地回答。”李玲说。

当有人追问，为什么上海飞机设计研究院如此充满自信的时候，郭博智笑着说，我们的设计院有来自各个国家的航空专家，乌克兰的专家会说，我们乌克兰有200多个政党，他们天天都在吵架，政局乱得一塌糊涂；院里来自俄罗斯的专家会说，我们国家的科技人员在减少，依靠国家自身的经济实力很难独立研制一些大型科技项目，我们的市场也不足支撑我们的产品；而来自空客公司的专家则说，我参加了你们的招生活动，你们航空院校的学生表现出来非常优秀的科学素养，他们在学校期间就参与了很多航空产品的开发工作，这让他们能够很快地就参与型号的工作；最后，来自波音公司的专家说，他在上海飞机设计研究院收到最多的是年轻飞机设计师们发来的结婚邀请函，而他在波音公司的时候收到最多的是退休聚会的

邀请，这说明我们的设计团队非常年轻，而年轻就意味着希望……

“坚定的国家意志、稳定的经济投入、丰富的国际资源、优质的人才队伍以及接受过型号锻炼而又拥有未来的年青一代……”郭博智自信地说，“我拥有这些优势，怎么可能不自信，还有什么奇迹不能去期待的！”

“军用飞机永远追求跨代技术，商用飞机的继承性很强，通过ARJ21-700飞机，我们将适航条款100号修正案内的所有技术问题都掌握了。”每次面对外界对于ARJ21-700飞机是否获得了FAA适航证的质疑时，罗荣怀都会说，“实质上，针对100号修正案，我们已经获得了FAA的适航证。”

或许外人觉得我们在ARJ21项目上走得步履蹒跚，但是正是这些逢山开路的过程为C919大型客机乃至宽体客机的研制架起了高速路，他们可以在ARJ21-700飞机的基础上奔跑起来。

一直以来，中国的民机产业以及民机人都备受社会关注，有时候他们被视为国家意志的象征，有时候又成为工业落后的代表；有时候他们是国家创新性工程的明星，有时候又是民意发泄与肢解的对象……就是在这样的进程中，寸进尺退、剑及履及，我们建立了中国自己的民机产业体系，这是个漫长的过程，政府与企业在成长中共同进退，却也有着各自坚守的内在逻辑与原则。对于这样一个越来越焕发出活力的产业更需要公众从感性和理性进行全方位的审读。我们应该承认，ARJ21-700飞机的传奇值得镌刻于中国商用飞机的研制历史上，而永世长存。等“阿娇”的这些故事与精神，在世上流传之时，中国民机的商用航空时代亦即到来！

---

[5] ［英］马修·林恩（Matthew Lynn）.空中对决［M］.北京：华夏出版社，2001.

后记
永不放弃

综观中国民机的发展史上，报国、自强、悲壮、铁血的情感始终交织在一起，新华社解放军分社记者刘济美，多年来一直不懈地力求完整地解开这些关乎中国民机生死突围的密码，她以军人的执着精神、记者的敏锐视觉，试图从航空人的“航空报国”理念入手，诠释中国民机的真实发展历程。

2008年，一个偶然的机会，一位朋友送来一本书，书名叫《为了中国——中国首架支线客机研制纪实》，随手翻了一下，书里的笔墨和文字如同跳动的英雄交响曲，气势磅礴，刚劲有力而观点独到，节奏感极强，书中通过描述我国在21世纪初研制新支线ARJ21-700喷气式商用客机，再次点燃了航空人大飞机梦的希望，记录了中国航空人对大型商用飞机的不懈探索和思考，对中国民机三起三落历史的剖析，悲壮与不甘跃然笔尖。更难能可贵的是，书中对航空人报效祖国的拳拳之心怀着崇敬的笔墨。更为令我惊讶的是，书中的航空、飞机知识和术语极具专业性。书的作者就是刘济美，我和很多人都认为，她应该是一位航空专业出身的资深作家。然而真的错了，待到人介绍认识后发现，这是一位非常秀气的北方姑娘，佩戴少校军衔的新华社记者。

军人与记者，连在一起一定妙不可言，但我惊讶于她用花季岁月去翻动那些很厚很厚的即使是航空院校的大学生也得啃几年的航空专业书籍，同时花大把大把的黄金般的时间去请教一些航空专家，为了写这本书一定蛮拼的。

航空工业是现代工业文明的奇迹之一，飞机的发明是两百余年工业革命技术积累的结果。飞机的横空出世，使现代社会插上了翅膀，人类社会进入了一个高速发展时期。建立在已知人类科学技术各学科领域基础上的航空科技，今天为人所认识。人们仰望天空时，看到天上飞翔的具有仿生学外形、性能优异的商用飞机，都会有一种原始的冲动，而大型商用飞机，如空客A380飞机，这些巨无霸飞在天空上，的确让人惊诧得目瞪口呆。

大型商用飞机是现代工业科技皇冠上的明珠，它几乎建立在我们已知所有的现代工业基础之上，涉及全部自然科学的成果，成为一个国家综合国力的体现。经过百年的洗礼，大浪淘沙，如今能够制造大型商用飞机的国家和地区，如果按照150座级以上算，只有美国和欧洲，中国2008年宣布启动大型客机的研制，而生产100座左右的国家也只有加拿大、巴西和俄罗斯，日本近年来也开始研制100座的支线客机。中国从2002年启动了90座

级的新支线ARJ21-700飞机的研制。可以看出，这些国家代表着当今世界制造业最高水平，代表着世界先进的科技、经济和资源水平。因此，只有大国和强国才能进行大型商用飞机的制造。

中国民机的发展之路波澜起伏，艰辛而曲折，悲壮而不屈，以上海在20世纪70年代启动运-10飞机项目为标志。成功与失败，汗水与泪水，决策与阴谋，至今静静矗立在上海飞机制造有限公司的运-10飞机，带着几十年历史的秘密，不愿诉说那段往事，任由人们评议。而今天，中国商飞公司在飞机前立了一尊雕塑，上书“永不放弃”四个字，表达中国航空人对大飞机的一往情深，表达对研发运-10飞机前辈的敬意，表达对大飞机梦不屈不挠的追求。

我国航空工业的科技人员，以自己特有的方式，克服了难以想象的困难，研制了很多具有划时代意义的飞机和航空技术平台，总结这些史诗般且丰碑式的研制历程，如同产品研制本身一样严肃而高深，更像是技术或者管理总结报告。缺乏文字的灵性，缺少科技工作者有血有肉的情感，难以描绘出我国航空科技人员把自己的人生最美好的青春年华奉献给热爱和敬仰的祖国那份真挚的忠诚，因而拒人于千里之外。而刘济美在她的文字里似乎有一种对飞机特有的遇知感，因而，我觉得她将可以把这段中国民机的历史呈现给世人，告诉国人，中国航空人的大飞机梦一直在路上。

于是，2009年，我建议刘济美继续紧跟新支线飞机研制脚步，用她特有的文字记录ARJ21-700飞机从首飞到适航取证，并且交付给首家用户的全过程。

原名叫“翔凤”的ARJ21-700飞机，一个具有阳刚之气的“男子汉”，原打算翔凤傲视天下。结果被刘济美和与她在一起的“小伙伴”们，把“翔凤”变成了“阿娇”，变成了她的“闺蜜”。她跟随“阿娇”到内蒙古海拉尔，经受黎明零下43摄氏度的极寒；昆仑山下海拔2800米，格尔木奔跑着藏羚羊的高原；狂风挟裹着漫天黄沙的戈壁，还有天山冰雪、三亚海南等等。“阿娇”历经极寒、酷暑、湿热、高原、结冰等试验，她都在场，失速、颤振、溅水等重大风险试飞科目她都相伴。6年的厮守，她了解“阿娇”甚于他人，她对“阿娇”的情感与日俱深。她记录着中国商飞的决策者与科技人员，面对从未遇到的挑战时，如何用汗水和智慧来攻克一道道难关；期盼着国人对大型民机敞开胸膛，去拥抱民机，给“阿娇”创造一个美好的成长环境。作为这段历史的记录者，她力求客观而真实的还原这段历程，无论是项目的管理层还是科研一线的技术人员都愿意和她交流自己的感受与得失经验，在我们遭遇挫折的时刻，她甚至比我们还有信心，对梦想的永不放弃，同时也在感染着我们。

在首架ARJ21-700飞机交付后的几个月，成都的天空首次出现载着旅客的

国产支线机ARJ21-700飞机的身影，这本《一个国家的起飞——中国商用飞机的生死突围》一书也将在这架飞机上，与首航旅客们分享“阿娇”的故事。

ARJ21-700飞机项目总指挥

罗荣怀

后记
这是中国商用飞机发展的“黄金时代”

2015年11月29日，注定是一个不平凡的日子，祖国西南的天空晴空万里，巴蜀大地锣鼓喧天，八方来客翘首以待。当我驾驶着ARJ21-700飞机平稳降落，向舷窗外的人们挥舞起红旗的时候，人群欢呼的声音淹没了我的思绪，我终于实现了自己6年前的承诺：接ARJ21-700飞机回家！

实现这个承诺，无论对于作为ARJ21-700飞机全球首家用户的成都航空公司来说，还是对于ARJ21-700飞机的制造商——中国商飞公司来说，都是一场异常艰难的挑战，既体现在技术上，更体现在理念上。它既代表了国家民机战略的实现，也体现了中国民机产业进入商业航空时代的探索，所有的改变都从ARJ21-700飞机开始。

回首ARJ21项目13年的研制历程，倾注了几代航空人的心血和期盼，多少青丝变白发，多少永不放弃的守候，又有多少年轻人前赴后继，毅然地担当。几代民机人克服了难以想象的困难，“航空报国”的理念使他们毅然前行，而在ARJ21-700飞机首次载客运营的时候，所有的挫折都谱写成荣耀与辉煌，铸就了中国民机发展史上的又一座丰碑，载入了中国商用航空时代繁荣发展的时代篇章。

2014年6月是我与ARJ21-700飞机的第一次接触，飞机的表现彻底颠覆了外界对于它的传闻，让我对这架飞机充满了期待。为了充分验证ARJ21-700飞机性能的优越性，在ARJ21-700飞机首席试飞员、中航工业试飞院副院长赵鹏的指导下，我在模拟机上挑战了两个极限动作：一个是紧急着陆的小起落，要求2分40秒内完成，我只用了2分16秒完成；另一个是所有舵面全部失效情况下以俯仰配平和油门着陆，我一次就成功了，这说明ARJ21-700飞机有着自身的设计特点，首家用户提出的建议也得到了更改与优化，我深深地体会到ARJ21-700飞机变化的力量，这架属于中国的“梦想之翼”已有能力翱翔在祖国的蓝天，向世界展示中国制造的能力。

而与本书的作者结缘也与ARJ21-700飞机密不可分,她对ARJ21-700飞机的了解超出了我的想象，后经过深入的了解，更被她对民机事业深深的情感打动。因为对梦想的追求，她跟踪ARJ21-700多年，亲历试飞研发过程，用记者的敏锐真实而客观地记录着这段历史。她更有军人的坚毅，让她能够有勇气身处酷暑高寒等极限气象条件下与科研人员同甘共苦，即使在ARJ21项目遭遇挫折的时候，她也从来没有失去信心，这种情感打动着我们。她把ARJ21-700飞机研制中的故事带到成都航空，拉近了市场与用户

对“阿娇”的感情与认同。如果说，我们首家用户肩上担负着的是责任，那么她对于这架飞机则是真正的理解与接受，我想正是因为这份对中国民机梦的共同追求，支撑了她，也支撑了我们，要让ARJ21-700飞机的故事流传，要迎接属于中国民机的商用航空时代！

实现民机的市场商业价值是国家民机战略不可或缺的重要一环，然而，市场竞争却是异常残酷的，纵观世界民机发展史，各型号飞机都会经历一段不断调整、完善以适应市场的历程。能否真正被市场接受，ARJ21-700飞机还有很长的路要走。如今，ARJ21-700飞机开启了它成长的新篇章，它将真正载着梦想经历市场的挑战，而成都航空作为ARJ21-700飞机的首家用户，也积极参与到了飞机的研发制造过程中。“锦绣成航，载梦飞翔”，未来的日子，中国民机事业将与成都航空共同走过一段全新的成长历程，这段路充满挑战，充满未知，但终有一天，当更多的人坐着属于中国自己的商用飞机在蓝天上旅行时，再翻阅这本《一个国家的起飞——中国商用飞机的生死突围》，将感叹这是属于中国商用飞机发展的“黄金时期”，也是民机人与民航人共同谱写的关于梦想与商业航空的时代……

四川航空集团有限责任公司总经理

图书在版编目（**CIP**）数据

一个国家的起飞——中国商用飞机的生死突围 / 刘济美著.—北京：中信出版社，2016.4
ISBN 978-7-5086-5998-5
I.①一… II.①刘… III.①- IV. ①民用飞机—航空工业—-概况—中国 IV. ①F426.5
中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第049679号

一个国家的起飞
著：刘济美
策划推广：中信出版社（China CITIC Press）
出版发行：中信出版集团股份有限公司
（北京市朝阳区惠新东街甲4号富盛大厦2座 邮编100029）
（CITIC Publishing Group）
电子书排版：张明霞

中信出版社官网：http://www.citicpub.com/
官方微博：http://weibo.com/citicpub
更多好书，尽在大布阅读；
大布阅读：App下载地址 （中信电子书直销平台）
微信号：大布阅读